

2018 Synopsys ARC 杯电子设计竞赛

技术论文

车内滞留儿童智能防护系统

参赛单位：西安电子科技大学

队伍名称：IC 三叉戟

指导老师：史江义老师

参赛队员：赵博 郭海 李鹏飞

完成时间：2018 年 5 月 25 日

基本情况表

队伍名称	IC 三叉戟			单位名称	西安电子科技大学
项目名称	车内滞留儿童智能防护系统				
项目负责人	赵博			联系方式	18710895857
指导老师	史江义			职务	副教授
参赛队员信息	姓名	学历	证件号码	专业	分工情况
	赵博	硕士	130684199406114973	集成电路系统设计	ARC 硬件平台搭建
	郭海	硕士	152627199409251015	集成电路工程	ARC 软件调试
	李鹏飞	硕士	120114199502170010	集成电路工程	FPGA 软硬件设计
项目时间	2018 年 01 月 20 日 - 2018 年 06 月 04 日				
队伍简介	本团队依托宽禁带半导体国家重点实验室，师从史江义副教授，均为研一学生，对电子设计具有浓厚的兴趣，三人优势互补，团结一致，在 2017 年全国大学生 FPGA 创新设计邀请赛中获得研究生组国家一等奖，并同时获得 Xilinx 企业特别奖，同时得到 Xilinx 企业的孵化。				
参与项目	AI 算法硬件加速技术与实现（赵博，郭海，李鹏飞） 基于 ARC 处理器的智能药箱（赵博） 景区智能导游机系统（郭海） 基于单片机的智能锁系统（李鹏飞）				
获奖情况 （校级及以上）	2017 Synopsys ARC 电子设计竞赛优秀奖 十二届研究生电子设计竞赛国家二等奖-基于 ARC 处理器的智能药箱 2017 全国大学生 FPGA 创新设计邀请赛全国一等奖+Xilinx 企业特别奖 第七届全国大学生集成电路创新设计竞赛全国二等奖				
研究专长	团队成员擅长嵌入式的开发，具有 FPGA，ARC, ARM 开发调试经验。				
其他	无				

摘 要

近年来，随着汽车在世界范围内的快速普及，它给人们带来极大便利的同时也带来了许多的安全隐患。其中由于父母的疏忽或者缺乏安全意识的原因，导致儿童被锁车内发生事故的案例时有发生。儿童滞留车内的安全事故已经占到车内非交通死亡相当大的比例，研究和解决儿童滞留车内的安全问题有重要的现实意义。

为了预防儿童滞留车内导致的悲剧发生。我们基于 ARC 和 FPGA 平台，综合设计实现了一套车内滞留儿童智能防护系统，通过智能的现代传感系统以及智能的图像处理系统，使车辆具备智能的滞留儿童检测能力，能够自动分析儿童所处的状态，及时的远程提醒或一键呼救车主返回进行相关处理，必要时还可进行紧急求助，多方面预防和保护车内滞留儿童的生命安全。在此方案中，我们利用 ARC 作为智能控制系统，因其有低功耗，可配置等优势，用来连接驱动各现代传感器、执行器等模块；同时利用 FPGA 强大的图像处理能力，使用 Xilinx 的 Vivado HLS 软件实现运动目标检测算法的硬件加速，对车内儿童进行快速精确的监测，与 ARC 相互配合共同来实现多个智能系统，如滞留儿童检测系统、远程提醒系统、紧急求助系统、语音交互控制等智能系统，多方面的完成智能检测、提醒和交互等功能，从而实现车内滞留儿童智能防护系统。

作品与已有产品相比，利用了 ARC EM 处理器做智能控制，功耗更低，系统功能更加多样化，并且各系统皆具有可配置、可扩充、可裁剪特性。相比于现在主要用于高档车的辅助系统，本作品成本更低，系统功能更加切实需要，整个系统设计都是尽可能考虑在成本可接受范围内，解决实际生活中车内滞留儿童存在的安全情况。此作品也为基于 ARC 设计者提出了一种“ARC+FPGA”的设计新思路，充分发挥并互补各开发平台的优势，实现多功能、智能化且更有应用价值的作品。

关键词：ARC 处理器 滞留儿童检测 车载智能辅助系统 运动目标检测

ABSTRACT

In recent years, with the rapid popularity of automobiles in the world, it has brought great convenience to people and also brought many security risks. Due to parental negligence or lack of safety awareness, accidents that occur when children are locked up in cars occur from time to time. The safety accidents in which children are stranded in vehicles have already accounted for a considerable proportion of non-traffic deaths in the vehicle. It is of great practical significance to study and resolve child safety problems in the vehicle.

In order to prevent children from stranding the car caused by the tragedy. Based on ARC and FPGA heterogeneous platforms, we have designed and implemented a set of Intelligent Protection System for Child Retention in Vehicles. Through intelligent modern sensing systems and intelligent image processing systems, the vehicle is equipped with intelligent child detection abilities that can be automatically analyzed. The state of the child, timely remote reminder or one-click help the owner to return to the relevant treatment, emergency assistance if necessary, in many ways to prevent and protect the safety of children staying in the car. In this scenario, we use ARC as an intelligent control system because it has advantages such as low power consumption and configurability. It is used to connect and drive various modern sensors, actuators, and other modules. At the same time, we use FPGA's powerful image processing capabilities to use Xilinx's Vivado HLS software implements hardware acceleration of moving object detection algorithms, performs fast and accurate monitoring of children in the vehicle, and cooperates with ARC to realize multiple intelligent systems such as child detention detection system, remote alert system, emergency help system, and voice interaction. Intelligent systems such as controls complete many functions such as intelligent detection, reminding, and interaction so as to realize our intelligent system for retaining children in vehicles.

Compared with existing products, ARC EM processor is used for intelligent

control, lower power consumption, more diverse system functions, and all systems are configurable, extensible, and tailorable. Compared to the auxiliary systems that are mainly used for high-end cars, the cost of this work is lower, and the system function is more practically needed. The entire system design is to consider as far as possible within the acceptable range of costs, to solve the problem of the existence of children in the car in real life. Security situation. The addition of the FPGA further improves the system's functional integrity and enhances the system's intelligence. This work also proposes a new design concept for "ARC+FPGA" based on ARC designers, giving full play to and complementing the advantages of various development platforms and realizing multi-functional, intelligent and more applied works.

Keywords: ARC processor Detained children Vehicle-assisted system
Moving target detection

目 录

第一章 方案论证	1
1.1 项目概述.....	1
1.2 资源评估.....	3
1.3 预期结果.....	3
1.4 项目实施评估.....	3
第二章 作品难点与创新	5
2.1 作品难点分析.....	5
2.2 创新性分析.....	5
2.3 本章小结.....	6
第三章 系统结构与硬件实现	7
3.1 系统原理分析.....	7
3.2 系统结构.....	8
3.3 硬件实现.....	8
3.3.1 OV7670 摄像头.....	8
3.3.2 图像处理硬件通路搭建.....	10
3.3.3 红外人体感应模块.....	10
3.3.4 GPRS 模块.....	12
3.3.5 甲醛传感器.....	13
3.3.6 温度传感器.....	13
3.3.7 语音交互模块.....	14
3.4 本章小结.....	16
第四章 软件设计与实现	17
4.1 软件设计流程.....	17
4.2 软件实现.....	17

4.2.1	运动目标检测算法 IP 实现	17
4.2.2	红外人体感应模块软件实现	18
4.2.3	SIM900A 模块的软件实现	19
4.2.4	甲醛和温度传感器的软件实现	20
4.2.5	语音交互模块的软件实现	20
4.3	本章小结	21
第五章 系统测试与分析		22
5.1	系统测试指标	22
5.2	测试环境	22
5.3	验证开发平台	22
5.3.1	ARC EM 平台	22
5.3.2	ZYNQ 平台	24
5.4	测试方案	25
5.5	功能测试结果	26
5.5.1	滞留儿童检测系统	26
5.5.2	远程提醒功能系统	27
5.5.3	紧急求救系统	27
5.5.4	车内环境监测系统	28
5.5.5	语音交互系统	28
5.6	作品展示	28
5.7	本章小结	29
第六章 总结展望		30
6.1	总结	30
6.2	展望	30

第一章 方案论证

1.1 项目概述

随着汽车在世界范围内的快速普及,它给人们带来极大便利的同时也带来了许多的安全隐患。常被人们所熟知的安全气囊,安全带等防护装置以及防碰撞追尾等装置,多是针对行驶过程中发生交通事故,来保护司机和乘车人的生命安全。但是,对于停车后车内滞留人员的安全防护措施却很少,其中由于父母的疏忽导致儿童被锁车内发生事故的案例屡见不鲜。当车辆驻停后,儿童一旦长时间被滞留车内,因车内温度的变化和有害气体的积聚容易导致脱水、中暑、体温过高,甚至窒息死亡,并且由于儿童具备一定的自救能力,也无法采取适当的措施,再加上大多数车窗贴了膜,路人从外很难看清车内情况。有研究表明,当车门关闭并且环境温度超过 36.8°C 时,有 75% 概率会使得车内温度在 5 分钟内发生最大升温,并在 15 分钟内升到 51°C 到 67°C ,而在太阳暴晒的情况下,婴儿在 5 分钟内便会失去对体温的调控并在 15~55 分钟之内出现体温过高。即便是在凉爽的春秋季节,在阳光的照射下,停放在室外的密闭车内温度也可以很快上升到危险的高度。还有就是长时间的滞留车内缺氧也会造成死亡。据统计,从 1998 年至 2017 年,美国有 709 名儿童被证实死于机动车内滞留高温致死,平均每年有 37 名儿童因此死亡,其中不满 1 岁的幼童占比 32%,仅 2017 年就已经有 9 例。大多数汽车热死儿童事件绝非故意,54% 的孩子被粗心的父母忘了,28% 的儿童在无人汽车内玩耍!随着中国经济的高速发展,汽车的拥有量也在迅速增加,近几年也不断出现类似的情况。由此可见儿童滞留车内的安全事故已经占到车内非交通死亡相当大的比例,解决儿童滞留车内的安全问题有重要的现实意义。

儿童滞留车内发生事故的主要原因有以下两种情况,一种情况是由于父母的疏忽,停车离开时忘记自己开车搭载了儿童;另一种情况是父母临时有事,因对车内高温缺乏安全意识,故意将儿童留在车内,计划短时间内赶回,最终忙于办事忘记了时间而导致悲剧的发生。基于此,我们团队决定设计一款针对车内滞留儿童的智能防护系统,希望能够有效预防和减少类似危险事故的发生。

我们的作品“车内滞留儿童智能防护系统”基于 ARC 和 FPGA 异构平台，通过智能的传感器系统和图像处理系统，使车辆具备智能的环境感知、目标检测、远程提醒、紧急求助，语音交互等能力，能够适时自动检测车内是否有儿童，及时的远程提醒父母赶回处理，并且系统设有一键求助和危险时间自启动紧急求助功能。考虑到本作品作为智能车载系统，在日常车主行车过程中，本系统也可作为车内环境监测器来使用，实时监测车内甲醛、温度等环境信息并进行显示和超标提醒，同时车主可以语音交互查询车内环境情况与控制车内部分设备。而且，以上两种工作模式可根据车辆所处状态进行自动切换，从而减小系统功耗。在此方案中，我们利用 ARC 作为智能控制系统，因其有低功耗，可配置等优势，用来连接驱动各传感器、执行器等模块；同时利用 FPGA 强大的图像处理能力，使用 Xilinx 的 Vivado HLS 软件实现运动目标检测算法的硬件加速，对运动物体实现快速精确的检测，与 ARC 相互配合共同来实现多个智能系统，如儿童检测系统、远程提醒系统、紧急求助系统，语音交互控制等智能系统，多方面的完成对车内滞留儿童的防护并充分发挥各开发平台优势，从而实现我们的车内滞留儿童智能防护系统。

最终系统功能主要分为以下几个方面：

1.儿童检测系统：基于 FPGA 平台硬件实现运动目标检测算法，对车内滞留儿童进行实时检测；ARC 搭载红外人体检测模块，两模块互相配合，双重保证对滞留儿童检测的实时性和准确性。

2.远程提醒系统：远程提醒功能主要通过 GPRS 模块实现，当车主锁车离开时，儿童检测系统进行检测，若存在滞留儿童则隔 1 分钟进行短信提醒，防止父母疏忽忘记搭载了小孩；若是父母主动留儿童在车内，一定时间未归或车内温度超过阈值，通过电话提醒父母赶回，年龄较大儿童也可通过一键呼救按键随时给父母打电话；若父母在设定的危险时间仍未归，系统自动启动紧急求助系统。

3.紧急求助系统：紧急求助系统一旦启动，灯光警报响起，可立即引起周围人注意，及时实施救援。

4.车内环境监测系统：对车内温度以及有毒气体等检测与 OLED 显示，如甲醛检测，当超标是会进行语音提醒。

4. 语音交互控制系统：在日常行车中，车主可以通过语音交互来查询车内环境情况，同时也可以通过语音交互来智能控制空调等设备。

1.2 资源评估

开发平台：Synopsys 公司的 ARC EM Starter Kit 开发板和依元素公司的 EES-288 开发板

外接模块：OV7670 摄像头模块、语音识别模块、语音合成模块，红外人体感应模块、SIM900A 模块、半导体甲醛传感器模块、温度传感器模块、OLED 显示模块、警报灯、继电器两个，锂电池一块，SD 卡一个等。

1.3 预期结果

系统设计完成后运用在车辆上，在车主停车离开车辆时，车内环境监测系统和语音交互控制系统关闭，儿童检测相关系统启动，对车辆内部进行运动目标检测与红外活体扫描，检测是否有滞留儿童存在，若有，则 1 分钟左右远程短信提醒车主有小孩在车内；如果车主故意将儿童留在车内，则系统从检测到儿童并开始计时，根据情况设定时间阈值，若到时车主未归，则通过电话提醒车主；电话通知后，到一定时间车主仍未归，则启动紧急求助系统，通过鸣笛、灯光闪烁多种方式吸引周围人注意，采取救援。儿童滞留车内的过程中，也可自己通过一键呼救按键随时拨打车主电话进行呼救。

在日常行驶中，车主每次启动车辆，儿童检测相关系统都会关闭，环境检测系统与语音交互控制系统开启，各环境监测传感器，对车内环境进行检测与显示，若存在有毒气体超标或车内温度过高等情况，可及时语音提醒。车主也可通过语音交互来查询车内环境情况，并通过语音交互来智能控制车内空调等设备开关。

1.4 项目实施评估

2018 年 1 月 20 日——2 月 5 日：查阅相关文献资料，讨论确定设计方案

2018 年 2 月 20 日——2 月 28 日：梳理完善设计方案，初步撰写技术文档，购买相关元器件模块

2018 年 2 月 28 日——3 月 28 日：学习 ARC 开发板，完成各模块与处理器接

口的连接，编写各模块相应的驱动程序，逐步将各模块进行联调，实现预期功能

2018 年 3 月 28 日——4 月 28 日：学习运动目标检测算法，Vivado HLS 高级综合工具，实现对运动目标检测算法硬件加速，生成相应 IP。

2018 年 4 月 28 日——5 月 10 日：将 ARC 与 FPGA 部分进行相关连接配置，进行异构平台混合调试，完成预期各智能系统功能的测试。

2018 年 5 月 10 日——5 月 20 日：撰写完整技术文档，准备答辩相关材料。

第二章 作品难点与创新

2.1 作品难点分析

通过对作品整体设计方案的评估，作品可能存在的难点有：

- (1) 车内滞留儿童所处状态较复杂，需对各种情况实现检测及预警。
- (2) ARC 控制的各系统之间存在模块共用或互相调用的复杂情况，需要梳理各系统之间关系并进行联调。
- (3) 系统需在停车情况下运行，需要具备可充电、低功耗特性。
- (4) 对运动目标检测算法的研究与硬件加速实现 IP 的方法。
- (5) Vivado HLS 高级综合工具的使用以及利用 Vivado 工具对图像处理视频通路的搭建。

2.2 创新性分析

车内滞留儿童智能防护系统旨在集中运用计算机、现代传感、信息融合、通讯、算法硬件加速及自动控制等技术实现滞留儿童的检测、远程提醒，紧急求助等系统功能。预防儿童因疏忽被锁车内，及时的提醒与求助，减少不必要的事故发生，保障车载儿童的生命安全。而且，作为车载系统，考虑到有行车情况，系统还设有行车辅助模式，可对车内环境进行实时检测与超标提醒，车主还可通过语音交互系统对车内环境进行查询和对车内设备进行智能控制。综合分析作品所使用的开发平台和各系统功能，作品的创新性有以下几个方面：

(1) 运用机器视觉技术中的目标检测算法实现对车内儿童实时精确检测，并通过 ARC 控制红外人体感应模块，两模块互相配合共同作用，防止漏检等情况发生，使车辆具备滞留儿童检测功能，并自动根据儿童所处危险状态发出提醒和求助信号，可防止因车主疏忽遗留、缺乏安全意识等引起车内滞留儿童安全事故。

(2) 根据车辆所处状态，系统设定了两种工作模式，一种是停车后上述的滞留儿童检测等相关系统工作，也是作品主要功能系统。另一种是行车辅助系统

工作，两种系统可智能切换。这样，在保证功能完整性是情况下，同时可以减小系统功耗。

（3） 应对驾驶员长期所处的车内环境质量，我们利用多个环境监测传感器，对车内环境进行实时智能监测与提醒。而且，通过语音交互系统实现车主与系统的互动、车内环境查询和设备控制等功能，用智能技术守护驾驶员所处环境的安全和灵活便捷控制车内设备。

（4） 作品结合利用了 ARC EM 处理器和 FPGA，充分发挥 ARC 作为控制器具有的超低功耗和可配置等特性，以及 FPGA 的实时图像处理能力。通过协调配合，共同实现了车内滞留儿童智能防护系统。

2.3 本章小结

本章通过对作品整体方案评估，例举了方案实施过程中可能存在的难点问题。最后，根据我们作品设计的目的，在开发平台与各系统功能等方面对作品的创新性进行了简要概括。

第三章 系统结构与硬件实现

3.1 系统原理分析

本系统为基于异构平台的智能车载系统，是一个集感知、提醒、决策、控制于一体的复杂多功能系统。本系统由滞留儿童检测系统，远程提醒系统、紧急求助系统、车内环境检测系统和语音交互控制系统五个子系统组成。

➤ 滞留儿童检测系统

滞留儿童检测系统借助 FPGA 强大的并行处理能力，通过运动目标检测算法对车内的儿童进行检测。ARC 开发板搭载红外人体感应模块，两种检测方式共同检测，当车主停车离开启动系统，若车内有儿童滞留，则启动远程提醒系统。

➤ 远程提醒系统

远程提醒系统借助 GPRS 模块进行短信与电话提醒，当检测到车内有儿童，1 分钟左右会短信提醒车主，防止车主疏忽无意将儿童留在车中的情况。当车主主动将儿童留在车中时，超过一定的时间或检测到温度超过阈值会进行电话提醒。如果车主没有在设定的危险时间内回来，会启动紧急救助系统。

➤ 紧急求助系统

紧急求助系统采用声音警报与灯光闪烁功能构成，系统一旦启动，可快速引起周围人注意，及时实施救援工作。同时通过远程提醒系统再次呼叫车主返回处理。

➤ 车内环境监测系统

环境监测系统采用 PM2.5 传感器、甲醛传感器，温度传感器对车内的环境进行监测，并通过 OLED 进行显示。当超过一定指标后，会通过语音来提醒司机采取相应的操作。

➤ 语音交互控制系统

语音交互控制系统由语音识别和语音合成输出模块两部分构成，语音识别模块会对相关语音指令进行智能识别并通过语音合成输出模块进行语音应答，同时控制相关执行器去执行车主命令。通过这种语音交互方式，车主可以通过语音命

令实现对车内环境监测结果的查询与控制车内的相关设备。

3.2 系统结构

基于 ARC 与 FPGA 异构平台的车内滞留儿童智能防护系统框架如下所示。

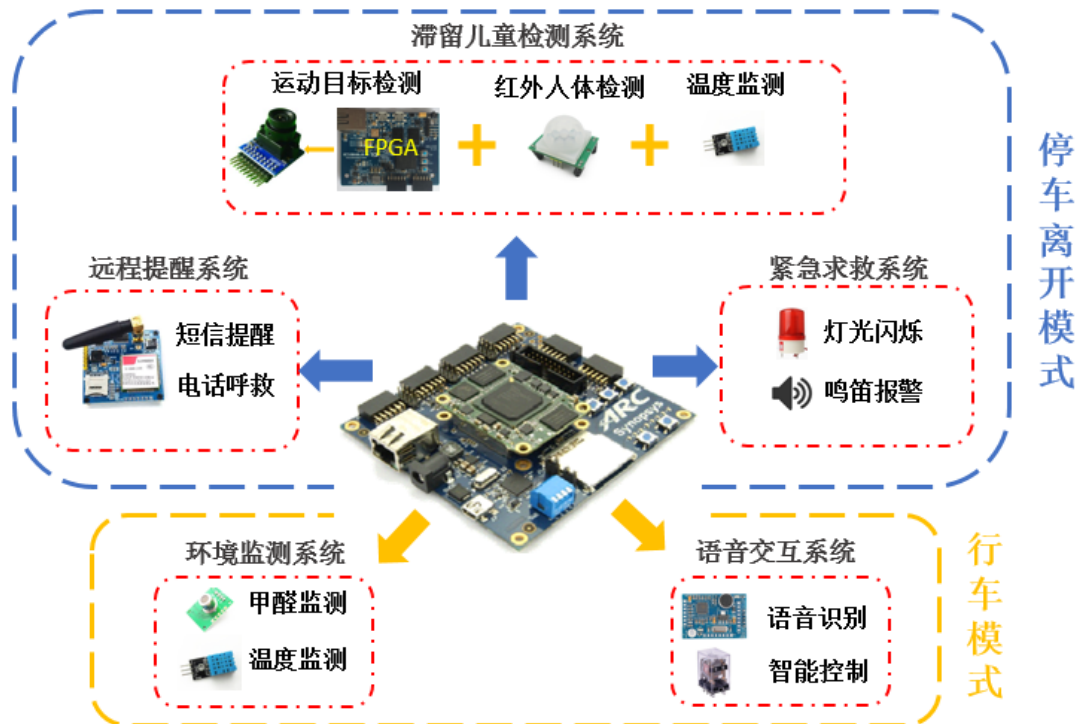


图 3-1 车内滞留儿童智能防护系统

3.3 硬件实现

本系统采用 ARC 及 FPGA 平台和多种传感器实现了滞留儿童检测系统、远程提醒系统、紧急求助系统、车内环境监测系统和语音交互控制系统。

3.3.1 OV7670 摄像头

本设计采用 OV7670 摄像头进行图像的采集，OV7670 是 OV(OmniVision) 公司生产的一颗 1/6 寸的 CMOS VGA 图像传感器，如图 3-3 所示。该传感器体积小、工作电压低，提供单片 VGA 摄像头和影像处理器的所有功能。通过 SCCB 总线控制，可以输出整帧、子采样、取窗口等方式的各种分辨率 8 位影像数据。该产品 VGA 图像最高达到 30 帧/秒。用户可以完全控制图像质量、数据格式和传输方式。所有图像处理功能过程包括伽玛曲线、白平衡、度、色度等都可以通过 SCCB 接口编程。OmniVision 图像传感器应用独有的传感器技

术，通过减少或消除光学或电子缺陷如固定图案噪声、托尾、浮散等，提高图像质量，得到清晰的稳定的彩色图像。



图 3-2 OV7670 摄像头模块

OV7670 的特点有：

- 高灵敏度、低电压适合嵌入式应用
- 标准的 SCCB 接口，兼容 IIC 接口
- 支持 RawRGB、RGB(GBR4:2:2, RGB565/RGB555/RGB444), YUV(4:2:2) 和 YCbCr (4:2:2) 输出格式
- 支持 VGA、CIF，和从 CIF 到 40*30 的各种尺寸输出
- 支持自动曝光控制、自动增益控制、自动白平衡、自动消除灯光条纹、自动黑电平校准等自动控制功能。同时支持色饱和度、色相、伽马、锐度等设置。
- 支持闪光灯
- 支持图像缩放

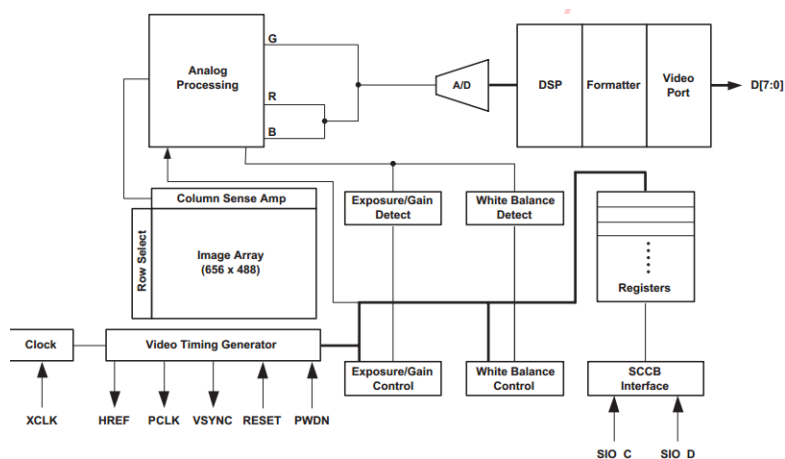


图 3-4 OV7670 内部结构

3.3.2 图像处理硬件通路搭建

本系统中滞留儿童检测部分主要采用 FPGA 来实现运动目标检测,其核心是通过软硬件协同设计的方法搭建视频通路,采用硬件加速的方式对图像进行处理,从而实现对运动目标的实时检测,并将信号传输给 ARC 控制端,其中利用 Vivado 工具设计的视频通路如图 3-2。图像处理总的流程为:通过 OV7076 摄像头采集图像,把源图像分三路缓冲在外部 DDR 存储器中,利用图像传输通道(VDMA)读取 DDR 中的连续三帧图像数据并传输到硬件加速的图像处理 IP 核,完成图像处理加速部分,处理后的图像再由 VDMA 传输到 DDR 中,最后用 VGA 显示模块完成运动检测效果的显示(为方便测试与演示的直观,实际应用中,不需要接 VGA 显示)。

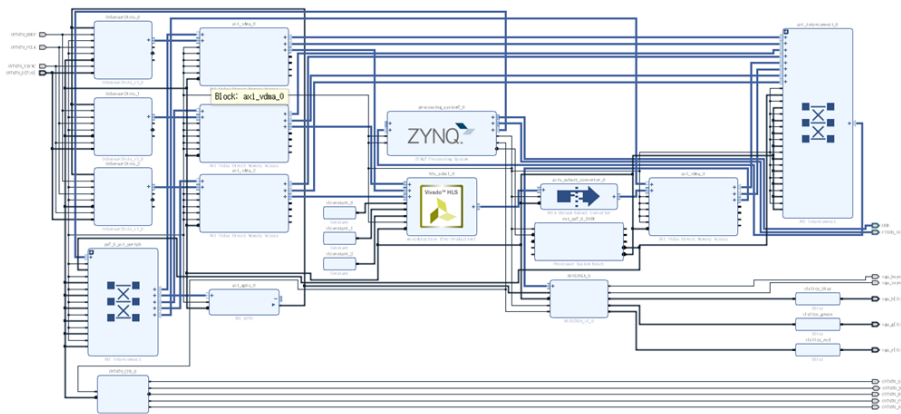


图 3-3 运动目标检测视频通路

3.3.3 红外人体感应模块

人体感应模块是基于红外线技术的自动控制模块,灵敏度高,可靠性强,超低电压工作模式,广泛应用于各类自动感应电器设备,尤其是干电池供电的自动控制产品。红外人体感应模块如图 3-5 所示。



图 3-5 红外人体感应模块

人体感应模块具有以下功能特点：

- 自动感应:人进入其感应范围则输出高电平,人离开感应范围则自动延时关高电平,输出低电平。
- 光敏控制(可选择,出厂时未设)可设置光敏控制,白天或光线强时不感应。
- 温度补偿(可选择,出厂时未设):在夏天当环境温度升高至 $30\sim 32^{\circ}\text{C}$,探测距离稍变短,温度补偿可作一定的性能补偿。
- 两种触发方式:(可跳线选择)
 - a 不可重复触发方式:即感应输出高电平后, 延时时间段一结束, 输出将自动从高电平变成低电平;
 - b 可重复触发方式:即感应输出高电平后,在延时时间段内,如果有人体在其感应范围活动,其输出将一直保持高电平,直到人离开后才延时将高电平变为低电平(感应模块检测到人体的每一次活动后会自动顺延一个延时时间段,并且以最后一次活动的时间为延时时间的起始点)。
- 具有感应封锁时间(默认设置:2.5S 封锁时间): 感应模块在每一次感应输出后(高电平变成低电平),可以紧跟着设置一个封锁时间段,在此时间段内感应器不接受任何感应信号。此功能可以实现“感应输出时间”和“封锁时间”两者的间隔工作,可应用于间隔探测产品;同时此功能可有效抑制负载切换过程中产生的各种干扰。(此时间可设置在零点几秒—几十秒钟)。

- 工作电压范围宽：默认工作电压 DC4.5V-20V。
- 低功耗:静态电流<50 微安，特别适合干电池供电的自动控制产品。
- 输出高电平信号：可方便与各类电路实现对接。

3.3.4 GPRS 模块

GPRS 模块的型号为 SIM900A，SIM900A 工作频段:GSM900/1800MHz。可以实现电话语音、SMS（短信、彩信）、GPRS 数据传输功能外（支持透传模式、域名解析和 IP 模式），还具有 DTMF 解码（可以识别对方按键）、TTS（可选本地语音播报）和蓝牙。SIM900A 模块在远程监控、远程智能抄表、智能家居和车载设备等远程通讯设备具有广泛的应用。SIM900A 模块如图 3-6 所示。



图 3-6 SIM900A 模块

SIM900A 模块的特点：

- 宽电压供电：5~18V DC 电源供电，灵活适应不同供电电压的系统，GPRS 模块供电特点是电压低、峰值电流大，因此开发板电源电压越高，电流越小，电源压力就越小。
- 上电自动开机：上电无需按键或单片机控制开机，操作方便、简单。
- 电源可控制：模块电源可通过电源控制引脚控制，高电平供电，低电平断电。断电时模块功耗接近 0，当模块出现死机时可通程序控制模块重启，无需机器断电重启，引脚默认为高电平，不用可悬空。
- 串口 TTL 和 RS232：模块可通过串口 TTL 或 RS232 电平控制，轻松接入各种单片机或其它串口设备中。
- 音频接口：音频输入和音频输出接口通过排针引脚，以供用户灵活使用。

3.3.5 甲醛传感器

甲醛传感器利用金属氧化物半导体材料，在一定温度下，电导率随着环境气体成份的变化而变化的原理制造的。模块具有很高的灵敏度、优异的长期稳定性、出厂已标定校准、传感器故障自诊断、低功耗、长寿命、高性价比。主要应用在空气净化机、新风换气系统、智能集成吊顶、空气质量检测仪、换气扇、空调等设备。甲醛传感器的结构和电气参数如图：

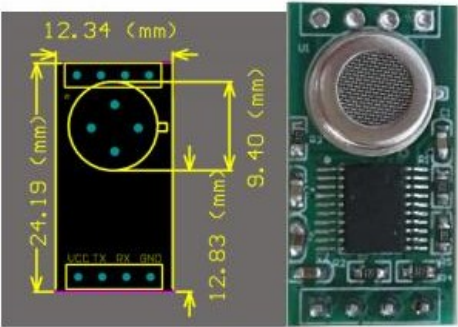


图 3-8 甲醛传感器

表 3-1 甲醛传感器电学参数

产品型号	YW-CHOH-01
检测气体	甲醛、TVOC
干扰气体	酒精，一氧化碳等气体
通信方式	UART 输出（5V 电平）
工作电压	5V (DC)
量程	0~1.5(mg/m³)
分辨率	≤0.001mg/m³)
预热时间	≤3 分钟
响应时间	≤1 分钟
恢复时间	≤1 分钟
工作温度	0~50℃
工作湿度	0~90% RH
外形尺寸	12mm*24 mm
接口	4 针单排2.54间距

3.3.6 温度传感器

温度传感器选用型号为 ADT7420，这是一款 4 mm × 4 mm LFCSP 封装高精度数字温度传感器，可在较宽的工业温度范围内提供突破性的性能。它内置一个带隙温度基准源、一个温度传感器和一个 16 位 ADC，用来监控温度并进行数字转换，分辨率为 0.0078℃。默认 ADC 分辨率设置为 13 位(0.0625℃)。 ADC

分辨率为用户可编程模式，可通过串行接口更改。工作电压为 3.3 V 时，平均电源电流的典型值为 210 μ A。 ADT7420 具有关断模式，可关断器件，3.3 V 时的关断电流典型值为 2.0 μ A。额定工作温度范围为-40°C 至+150°C。传感器如图 3-9。

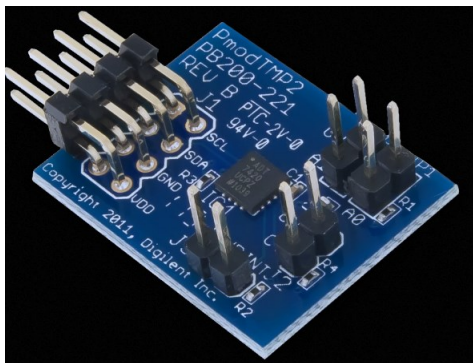


图 3-9 温度传感器

ADT7420 温度传感器特性：

- 温度精度高：±0.20°C(-10°C 至+85°C ， 3.0 V 至 3.3 V)
- 易于实现：用户无需温度校准 /校正，无需线性校正
- 低功耗：1 SPS (每秒采样率)省电模式
 正常模式：700 μ W (典型值， 3.3 V)
 关断模式：7 μ W(典型值， 3.3 V)
- 宽工作范围：温度范围（-40°C 至+150°C）
 电压范围：（2.7 V 至 5.5 V）
- 可编程中断：临界过温中断，过温 /欠温中断

3.3.7 语音交互模块

语音交互控制模块包括语音识别和语音合成输出模块，语音识别模块采用 YS-V0.7 语音识别模块，语音输出模块采用 YS-SYN6288 语音合成输出模块。

YS-V0.7 语音识别模块主要由 LD3320 芯片实现语音识别，LD3320 芯片是一款“语音识别”专用芯片，由 ICRout 公司设计生产。该芯片集成了语音识别处理器和一些外部电路，包括 AD、DA 转换器、麦克风接口、声音输出接口等。本芯片在设计上注重节能与高效，不需要外接任何的辅助芯片如 Flash、RAM 等，直接集成在现有的产品中即可以实现语音识别/声控/人机对话功能。

并且，识别的关键词语列表可以任意动态编辑。如图 3-10 为语音识别模块主要特征有：

- 通过 ICRout 公司特有的快速而稳定的优化算法，完成非特定人语音识别。不需要用户事先训练和录音，识别准确率 95%。
- 不需要外接任何辅助的 Flash 芯片，RAM 芯片和 AD 芯片，就可以完成语音识别功能。真正提供了单芯片语音识别解决方案。
- 每次识别最多可以设置 50 项候选识别句，每个识别句可以是单字，词组或短句，长度为不超过 10 个汉字或者 79 个字节的拼音串。另一方面，识别句内容可以动态编辑修改，因此可由一个系统支持多种场景。
- 芯片内部已经准备了 16 位 A/D 转换器、16 位 D/A 转换器和功放电路，麦克风、立体声耳机和单声道喇叭可以很方便地和芯片管脚连接。立体声耳机接口的输出功率为 20mW，而喇叭接口的输出功率为 550mW，能产生清晰响亮的声音。
- 支持并行和串行接口，串行方式可以简化与其他模块的连接。
- 工作供电为 3.3V，如果用于便携式系统，使用 3 节 AA 电池就可以满足供电需要。



图 3-10 语音识别模块

YS-SY6288 中文语音合成芯片是一款中高端语音合成芯片。通过异步串口（UART）通讯方式，接受待合成的文本数据，实现文本到语音（或 TTS 语音）的转换。芯片采用最小 SSOP28L 贴片封装，硬件接口简单，低功耗，音色圆润，语音合成自然度高。芯片结构如图 3-11。

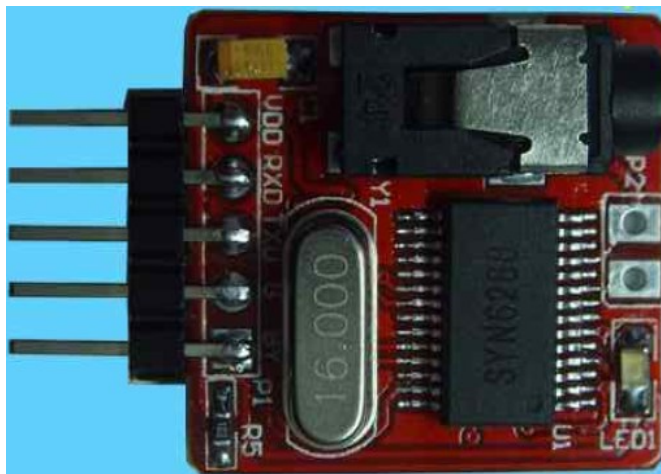


图 3-11 语音合成输出模块

芯片主要功能特点如下：

- 支持 GB2312、GBK、BIG5 和 UNICODE 内码格式的文本；
- 清晰、自然、准确的中文语音合成效果；可合成任意的中文文本，支持英文字母的合成；
- 具有智能的文本分析处理算法，可正确识别数值、号码、时间日期及常用的度量衡符号；
- 每次合成的文本量最多可达 200 字节；
- 支持多种控制命令，包括：合成、停止、暂停合成、继续合成、改变波特率等；
- 支持串行数据通讯接口，支持三种通讯波特率：9600bps、19200bps、38400bps；
- 支持 16 级音量调整；播放文本的前景音量和播放背景音乐的背景音量可分开控制；
- 最终产品提供 SSOP 贴片封装形式；体积业内最小；
- 芯片各项指标均满足室外严酷环境下的应用；

3.4 本章小结

本章首先对基于异构平台的车内滞留儿童智能防护系统原理进行了分析，然后给出了系统结构，系统分为滞留儿童检测系统、远程提醒系统、紧急求助系统、车内环境监测系统和语音交互控制系统。最后对整个系统的硬件实现进行了分析，列举了系统所使用的功能模块。

第四章 软件设计与实现

4.1 软件设计流程

本作品整体的软件设计流程如图 4.1 所示。

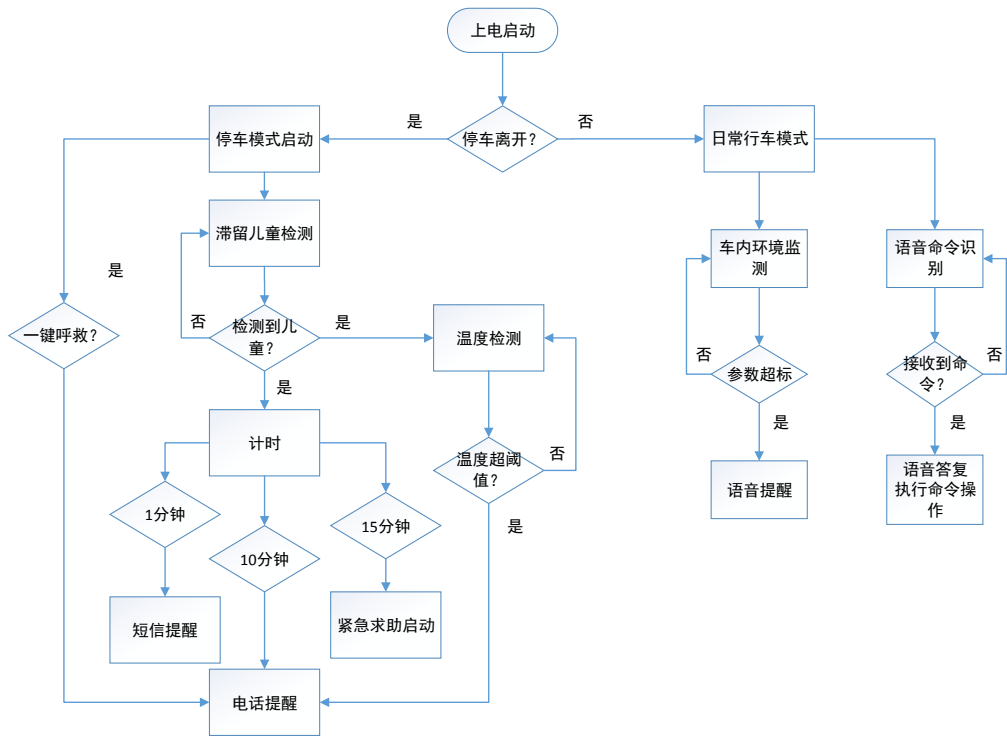


图 4-1 软件设计流程图

4.2 软件实现

4.2.1 运动目标检测算法 IP 实现

本系统采用三帧差分法来完成运动目标的检测，具体算法流程如图 4-2 所示。

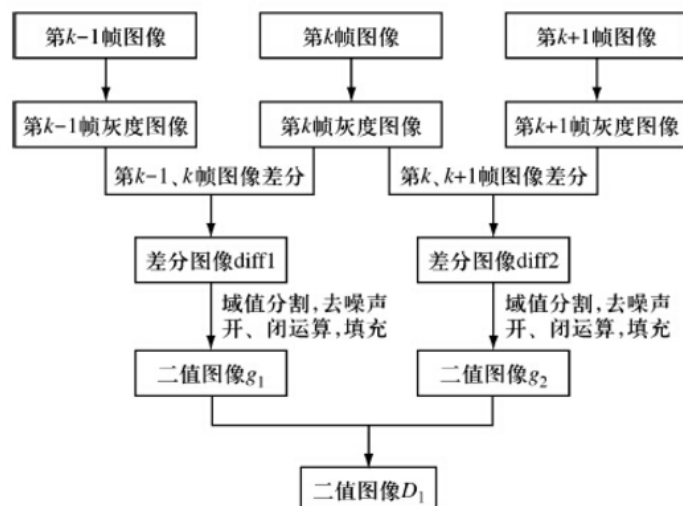


图 4-2 运动目标检测算法流程图

Vivado HLS 完成上述的算法流程需要经过特定的步骤。首先要创建 HLS 工程，选择配置所需的时钟频率 100Mhz，以及与 ES-288 平台相对应的器件。在完成工程创建后，添加算法程序，并通过在 HLS 的 TestBench 中，调用两张像素进行了位移的图片来代替我们运动目标的两帧视频图像进行测试。编译测试无误后，对整个工程进行综合。综合成功后，即可将设计封装为可移植 IP 核导出，最后在 Vivado 中按路径找到上述生成的 IP 核文件进行调用，IP 核如图 4-3 所示。

该运动目标检测 IP 中，input0，input1，input2 表示连续输入的三帧，rows 和 cols 分别表示图像的行像素和列像素个数，TH 表示三帧差分法的阈值，output 表示输出的流信号，ap_clk 和 ap_rst_n 分别为时钟和复位信号。

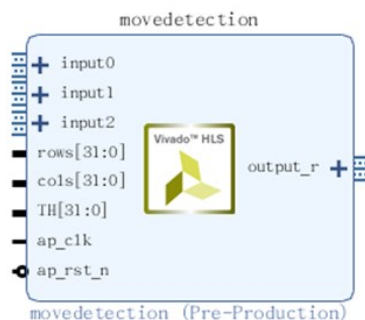


图 4-3 运动目标检测 IP

4.2.2 红外人体感应模块软件实现

滞留儿童检测，除使用上述运动目标检测算法外，常用的检测方法也有红外

人体检测，红外人体检测模块主要的软件实现流程如图 4-4 所示。

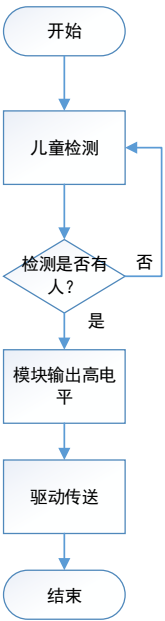


图 4-4 红外人体感应模块软件设计

4.2.3 SIM900A 模块的软件实现

SIM900A 模块主要用在远程提醒系统功能中，其中包括短信提醒与电话提醒两部分功能，具体软件实现流程如图 4-5 所示。

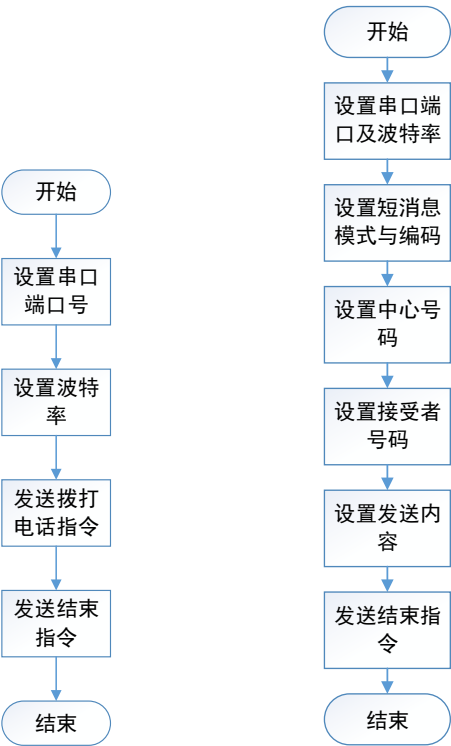


图 4-5 SIM900A 模块软件实现

4.2.4 甲醛和温度传感器的软件实现

甲醛和温度传感器主要对车内环境进行监测，根据模块数据手册，各模块具体的软件实现流程如图 4-6 所示。

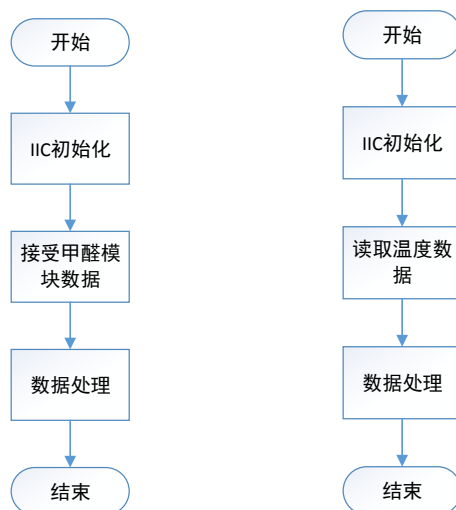


图 4-6 甲醛和温度传感器软件实现

4.2.5 语音交互模块的软件实现

语音交互模块的软件实现，主要包括语音识别和语音合成输出两部分软件实现，如图 4-7 所示，为两部分具体的软件实现流程。

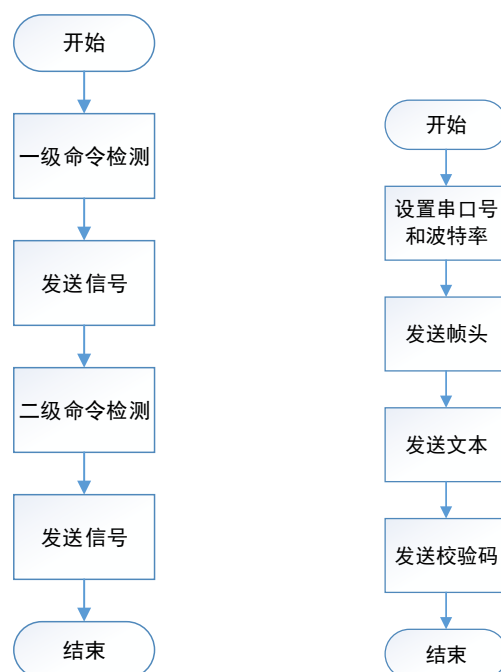


图 4-7 语音识别与输出模块软件实现

4.3 本章小结

本章根据作品实现的功能，首先给出了整体的软件实现流程图，按工作模式主要分为两种工作情况，在每种工作模式下，又根据各系统功能模块分别给出了详细的软件实现方法。

第五章 系统测试与分析

5.1 系统测试指标

1. 儿童检测的实时性和准确率
2. 检测到儿童后，1 分钟左右短信提醒的功能实现
3. 根据设定时间或者温度超过阈值，自动打电话功能的实现
4. 一键呼救功能实现
5. 设定时间，紧急求助功能可自动启动实现
6. 温度、甲醛检测与 OLED 显示的精确度、超标提醒成功率
7. 语音交互模块成功识别率，控制设备的成功率

5.2 测试环境

本作品作为智能车载系统，具体应用可能需要与车内部分电路相连接，但仅进行相关功能测试，对环境要求不是很高。我们选择在实验室，模拟车内环境进行相关功能测试，这样也方便观察与调试。

5.3 验证开发平台

5.3.1 ARC EM 平台

本系统搭载的目标为车辆，对实时性和功耗有很高的要求，Synopsys 公司推出的 ARC 处理器的最大优势在于低功耗和实时性，很好的满足了我们的设计需求。ARC 处理器的系统结构如图 5-1 所示。

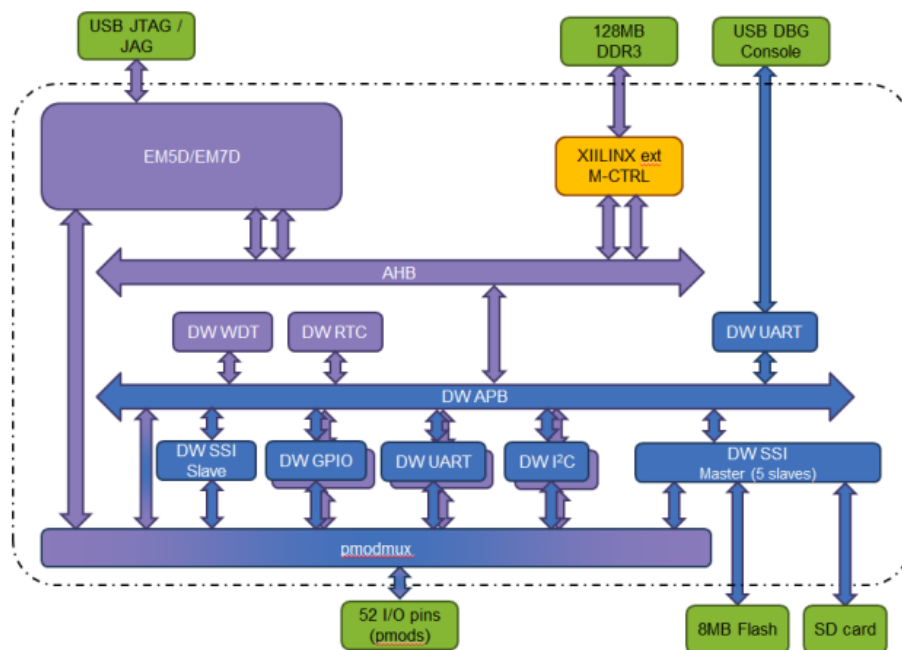


图 5-1 ARC 处理器结构

ARC EM 处理器是 32 位处理器内核，采用了三级流水线技术，使功耗效率及面积效率都达到最优化。包含基本的取指部件、ALU（算术逻辑单元）和寄存器组。在此基础上，通过添加不同的功能模块（如高速缓存 Cache、紧耦合存储器 CCM）或扩展指令集（如向量处理器 DSP 指令）实现不同的产品。ARC EM 处理器在与竞争对手的性能、功耗和面积的比较中处于领先地位，加上它具有丰富、灵活的架构，使得 ARC EM 处理器能够针对不同的应用需求有不同的功能表现。该产品系列在传感器、IoT、微控制器、数字信号处理及汽车电子等对设备功耗、体积和安全性要求高的深嵌入式应用领域得到了广泛的应用。ARC EM 硬件平台如图 5-2 所示。



图 5-2ARC EM 硬件平台

ARC EM 开发板主要包含赛灵思 Spartan-6 的 FPGA 核心子板和包含拓展连接器以及外设的底板。

底板上包含以下板载外设

- 10/100/1000Gibt 以太网收发器 (PHY)
- 2×16 比特尾款 1Gbit(128MB)的 DDR3 SDRAM
- 128Mbit(16MB)SPI Flash 存储
- SD 读卡器
- 按钮
- LED 指示灯
- DIP 拨码开关
- 可供设备扩展的 Pmod 连接器
- 通过 USB 线缆连接的调试 JTAG 和串口
- 标准的 20 引脚的 JTAG 连接器 (支持 4 线 JTAG)

5.3.2 ZYNQ 平台

ZYNQ 是 Xilinx 公司推出的高性能和低功耗的可扩展处理器平台, 该芯片结构采用 28nm 的高 K 金属栅极工艺。每个 ZYNQ 系列的单芯片内都集成了 ARM Cortex-A9 系列处理器系统 (Processing System, PS) 和 Xilinx 可编程逻辑 (Programmable Logic, PL), 并且 PS 中集成了内存控制器, 外部存储器 DDR

控制模块以及大量的外设，使得 ARM Cortex-A9 硬核处理器可以在 ZYNQ 中不需要可编程逻辑 (PL) 部分的介入进行独立运行。而之前在一个只有 FPGA 结构的芯片中，工程师如果想要实现一些硬件语言很难描述的复杂算法的话，只能通过 在 FPGA 中构造软核处理器来解决。ZYNQ 平台则通过嵌入 ARM 硬核处理器成功的解决了上面的难题。该平台兼具 ARM 处理器的灵活性和 FPGA 的可编程等特点。ZYNQ 芯片的系统结构如下所示：

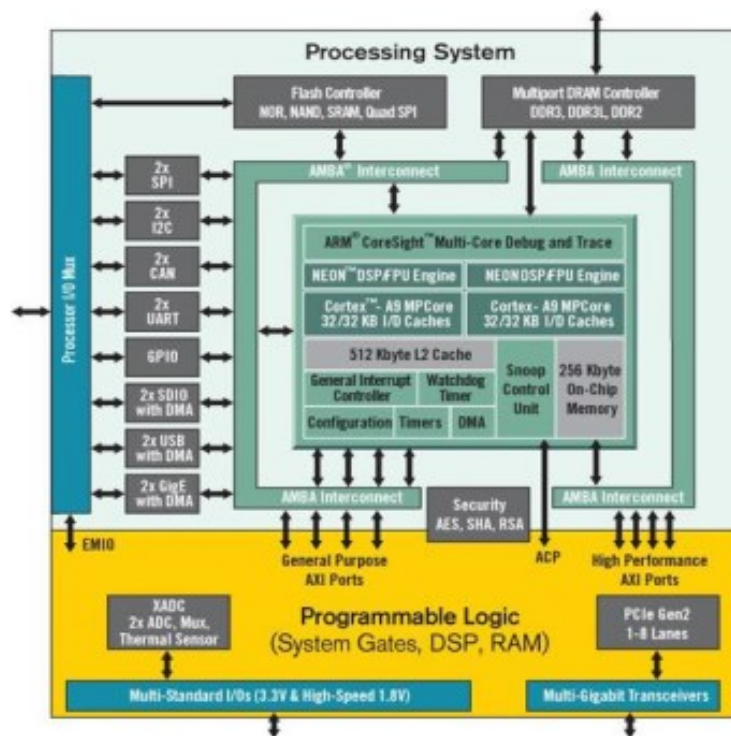


图 5-3 ZYNQ 硬件平台

5.4 测试方案

根据作品各部分系统功能，由于系统较多，我们采用先各功能模块测试再整体测试的方法。

(一) 滞留儿童检测模块测试方案

系统接通电源，首先按下模拟停车模式开关，观察环境监测系统和语音交互控制系统是否关闭，儿童检测相关系统是否启动。再通过我们自身模拟滞留儿童，做出轻微运动，观察 FPGA 实现的运动目标检测系统有没有检测到儿童，并传递信号给 ARC，同时查看红外人体检测模块是否检测到人体，并传递正确信号给 ARC。

（二）远程提醒和紧急求助模块测试方案

检测到儿童后，设定短信提醒时间为 15 秒（实际为 1 分钟），观察 15 秒后指定手机号是否收到有儿童滞留的短信提醒。再设定时间为 30 秒（实际情况为 10 分钟左右）和温度 25℃（实际情况为 37℃左右）作为打电话阈值，观察超过时间阈值或温度阈值是否会及时拨打电话。再设定时间 60 秒钟（实际为 15 分钟），作为紧急求助系统启动时间，观察紧急求助系统是否能正常启动，蜂鸣器警报和灯光是否正常响起。测试过程中，随机时刻按下一键呼救按键，检查手机是否能接到求救电话。

（三）车内环境监测模块测试方案

按下按键开关模拟行车模式，观察儿童检测相关系统是否关闭，环境监测和语音交互系统是否正常开启。读取 OLED 显示数据是否准确，根据当前测试环境，手动设置甲醛，温度等参数阈值，测试超标是否立即提醒。

（四）语音交互控制模块测试方案

本系统的唤醒命令为“ARC 小管家”，等待模块是否会有语音应答，当系统有语音应答，表示系统现在可以与我们交互，我们可以尝试语音查询车内环境和语音控制设备（条件限制，智能通过风扇模拟车内空调等设备），检测系统是否可以识别我们的命令，并反馈相关语音与执行操作。

在以上各项功能模块反复测试且都正常工作的情况下，我们将系统进行整体的测试，观察上述各模块在共同测试时，是否都能互不影响正常工作，并多次重复测试，统计成功率。

5.5 功能测试结果

5.5.1 滞留儿童检测系统

按照测试方案进行测试，当处于熄火停车模式时，一团队成员站于摄像头前面进行微弱的移动，通过外接显示器可以看到运动目标的轮廓。检测结果如下图所示。

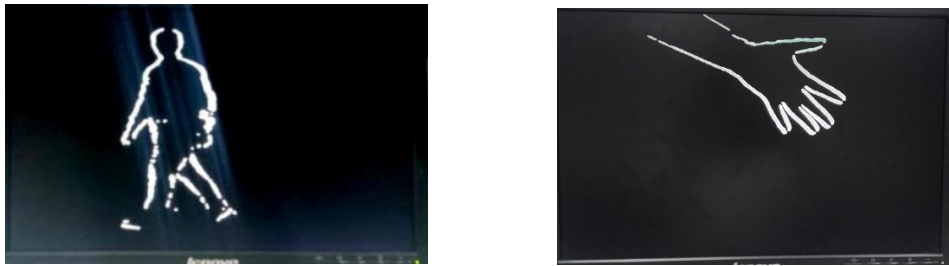


图 5-4 运动目标检测效果图

5.5.2 远程提醒功能系统

当检测到儿童 15 秒后，系统通过 GPRS 模块发送提醒短信到事先设置好的手机上，当时间超过 30 秒后或者在按下一键呼救按键后，则会拨打电话。如果在 30 秒之内，温度超标，也会发送短信到监护人手机。测试结果如下图所示。

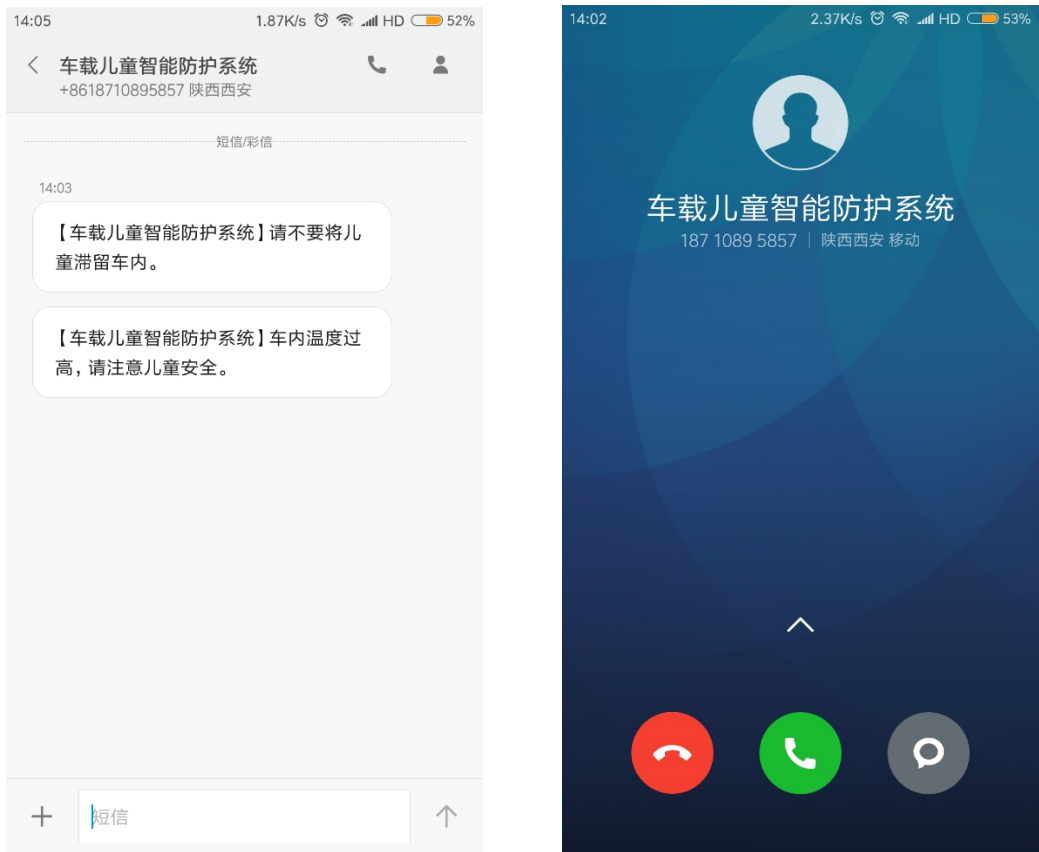


图 5-5 GPRS 模块测试结果

5.5.3 紧急求救系统

当检测到儿童 60 秒后，紧急求救系统正常启动，蜂鸣器发出警报，同时 LED 开始闪烁。实际应用过程中，该系统启动后会一直工作，直到儿童得到救助，在此处我们只设置了 10 次警报，该系统经过测试可以正常运行。

5.5.4 车内环境监测系统

将系统切换为行车模式，儿童检测相关系统关闭，车内环境监测系统正常运行，甲醛传感器和温度传感器开始正常运行，下面为 OLED 模块显示的测量结果。

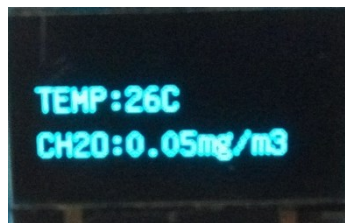


图 5-6 环境监测系统测试结果

5.5.5 语音交互系统

团队将语音交互系统的启动命令为“ARC 小管家”，该系统能够正确的识别设置的四种命令，并能够执行相应的操作，测试结果如下表所示。

表 5-1 语音交互系统测试结果

语音命令	语音应答
ARC 小管家	主人，您有什么吩咐？
打开空调	空调已打开
关闭空调	空调已关闭
车内温度是多少？	当前温度为 26 摄氏度
你还会做些什么？	对不起，我还在学习中。

5.6 作品展示

车载滞留儿童智能防护系统的外观和内部结构如图 5-7 和图 5-8 所示。



图 5-7 车载滞留儿童智能防护系统正面图

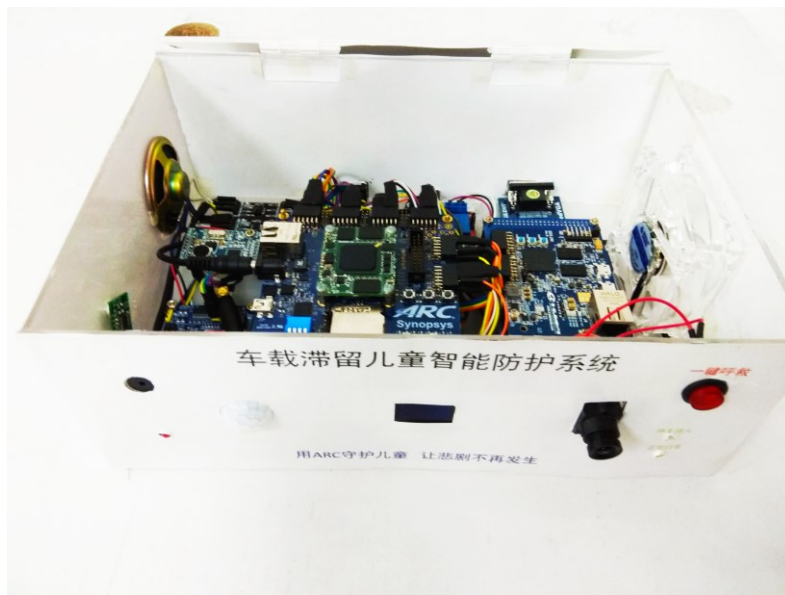


图 5-8 车载滞留儿童智能防护系统内部结构图

5.7 本章小结

本章根据项目的预期功能，对整个系统进行了测试。首先分析了测试指标，然后对测试环境和测试开发平台进行了叙述，最后按照设计好的测试方案，对整个系统进行了功能测试，系统可以正常稳定的运行。

第六章 总结展望

6.1 总结

本作品基于 ARC 和 FPGA 异构平台，通过现代传感器和运动目标检测图像处理算法，相互配合共同实现了多个智能系统，如滞留儿童检测系统、远程提醒系统、紧急求助系统，语音交互控制等智能系统，从而实现了车内滞留儿童智能防护系统。使车辆能够适时自动检测车内是否有儿童，及时的远程提醒父母，并且系统设有一键求助和危险时间自启动紧急求助功能。同时，在日常行车过程中，本系统也可作为车内环境监测器来使用，实时监测车内甲醛、温度等进行显示和超标提醒，车主还可以语音交互了解车内环境情况与控制部分设备。而且，以上两种工作模式可根据车辆所处状态自动切换，从而减小系统功耗。在此作品中，我们利用 ARC 处理器作为智能中央控制系统，协调控制多个功能模块，FPGA 作为图像处理算法实现的硬件平台，辅助 ARC 处理器完成系统功能，并且使用 Xilinx 的 Vivado HLS 等工具实现了运动目标检测算法的硬件加速 IP 生成。

最终对作品进行了测试与分析，基于我们选定的测试环境和测试方案，测试系统各项功能模块都工作正常，实现了预期设计功能。通过我们的作品能够实时有效的检测车内滞留儿童，完成远程提醒，紧急求助等功能，减少车内滞留儿童安全事故的发生。

6.2 展望

本作品虽然根据最初我们的设计方案，基本达到了预期的设想，但是由于研发条件的限制，作品未能真正与汽车系统实现融合与测试，而且作为车载系统，作品现在体积较大。希望在后期研发中，能够将作品核心控制部分实现芯片化，能够将作品应用于汽车系统中，让本作品可以真正的去帮助父母，保护儿童，解决儿童滞留车内导致事故的这一社会痛点问题。