**OpenHW2015**

**开源硬件与嵌入式计算大赛**

# **项目计划书**

**项目名称 基于Zynq的CPS服务化系统**

**申请人 钱凯雨**

**指导教师 张亮**

**联系邮箱 14210240018@fudan.edu.cn**

**联系电话 15221370150**

## 第一部分 团队及项目基本情况

### 一、团队基本信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 姓名 | 学校 | 专业 | 学历 |
| 钱凯雨 | 复旦大学 | 计算机软件与理论 | 硕士在读 |
| 叶林 | 复旦大学 | 计算机软件与理论 | 博士在读 |
| 常玉虎 | 复旦大学 | 计算机软件与理论 | 博士在读 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

### 二、项目概述

### 项目意义和目的：

信息-物理融合系统（Cyber-Physical System，CPS）是一组计算进程和物理进程组件的紧密集成，计算核心负责监控物理实体的运行，物理实体借助于网络和计算组件实现对环境的感知和控制。其远景是实现信息世界和物理世界的完全融合，构建一个可控、可信、可扩展并且安全高效的CPS网络，从根本上改变人类构建工程物理系统的方式。

本项目探索通过CPS服务化的方法，以组件化的方式构建复杂CPS系统（嵌入式应用）。结合微分动力学基础与服务计算理论，开展具有混成行为接口的CPS服务化方法的研究，具有前瞻性和探索性意义。这主要体现在以下几个方面：第一，在CPS服务（以混成行为接口表示其功能的CPS组件）中，由于信息系统和物理系统的强交互特征，体现物理系统动态演化的服务动力学属性必须在服务接口、组合与调用中以关键要素（first-citizen）加以刻画和应用。从这种意义上说，项目拓广了传统服务计算的理论和方法；第二，从CPS的观点出发，将传统的单模型框架扩展为一组并发交互的CPS服务，将能在建模层面上隐藏系统的复杂性，改由体系结构层面上分析和验证CPS，从而推进CPS向规模化、复杂化方向发展；第三，统一SOC范型和CPS特征的CPS服务行为建模、分析与验证技术体系的建立，具有多学科交叉的性质，其研究具有前沿性和探索意义。

### 采用的技术方法：

本项目拟扩展CPS服务的混成行为接口，开发相关工具，以确认CPS服务的可组合性、可分解性、可验证性，通讯与物理设备的时空特性支持和集成的设计、模拟和验证工具这五个问题，总体技术路线上，采用量化微分动态逻辑基础定义混成行为接口，定义组合并发、通讯、时空算子，基于组合Lyapunov 方程方法检验 CPS的全局安全与稳定性条件，基于量化微分动态逻辑进行组合 CPS 服务的安全性验证。

本项目的技术以多台小车的自主驾驶系统的构建得以体现。该自主驾驶系统不仅可以接收控制，并可自主地协调与系统中其它小车相关的行为。即以小车的自主驾驶系统为例，展示CPS服务化的方法。该技术未来可应用于汽车的自动驾驶系统，利用CPS服务化的方法将系统中各种资源都封装成服务，实现不同操作系统、开发平台、编程语言和中间件等异构系统之间的重用和互操作，依靠人工智能、视觉计算、雷达、监控装置和全球定位系统协同合作，让电脑可以在没有任何人类主动的操作下，自动安全地操作机动车辆。

### 三、团队相关工作

钱凯雨，复旦大学计算机科学技术学院硕士生。本科期间获得第四届全国大学生服务外包创新创业大赛三等奖，参与智能家居中控系统及其移动控制应用项目，实现利用电力载波技术对各种设备进行监测和控制。在本项目的工作中，调研了ZedBoard的相关参数和设计要求，已经完成智能小车的SD卡配置，包括boot和基本Linux文件系统的加载，可以通过web和客户端控制小车的前进、后退、转向和停止操作。

叶林，复旦大学计算机科学技术学院博士生。有很强的数学理论基础，对于CPS服务建模基础理论、体系与方法已有一定的研究。在本项目的研究中，结合混成系统在计算与物理行为建模与验证方面的优势，通过扩展服务接口的模式，实现CPS 异构交互并发、可扩展与时空特性通过扩展服务接口的模式，实现CPS 异构交互并发、可扩展与时空特性，实现大规模、复杂CPS 的分解、组合ll模型，研究组合系统的总体安全与稳定性条件，并实现组合安全验证。

常玉虎，复旦大学计算机科学技术学院直博生。本科期间获得2012年中国机器人竞赛暨ROBOCUP公开赛轮式搬运摄像头组一等奖，2013年全国电子设计竞赛江苏赛区二等奖，2013年飞思卡尔杯全国大学生智能车竞赛华东赛区三等奖等。在飞思卡尔智能车竞赛中，完成智能车识别和控制算法的设计与实现，包括采用CCD摄像头获取实时赛道信息，矫正图像的桶形和枕形失真，通过边缘检测方法提取赛道黑线，求出小车与黑线间的位置偏差和黑线曲率，采用PID算法对小车车速和舵机转向进行控制，最终智能车能够稳定并且快速运行。

## 第二部分 项目技术方案

### 一、系统架构

本项目的软件实现架构（CPS服务的架构）如图1所示。

图1 CPS服务的架构图

对物理属性的建模可以定义为

* : string, 物理属性的名称。
* : string, 物理属性的类型，如时间、维度、位置、能量、温度等可被预定义的类型。
* : string, 物理属性值的类型，可以是如as integer, float, double, boolean, string等简单类型，也可以是根据模式定义的如 域中的复杂类型。
* : 对应的物理属性常量或约束值。
* : 物理属性值的维度。

对物理行为的建模可以定义为

* : 都是 的一个元组，代表输入变量、中间变量和输出变量。
* : 变量的代数或微分方程。

对混成行为的建模可以定义为

* : 与物理行为的定义相同。
* : 由定义的混成程序。

本项目的硬件实现架构如图2所示。



图2 硬件实现架构图

ZedBoard以Zynq-7000为核心，通过FPGA来检测传感器信号并读取传感器的数据，包括超声波传感器、红外传感器、加速度传感器和GPS传感器；通过PWM控制电机转速，完成对小车前进、后退、加减速、停止和转向控制；通过TP-Link路由器进行无线通信，使得小车与客户端、服务器处于同一局域网中，实现小车和客户端以及服务器的数据共享。

### 二、资源评估

在软件方面，实验室在SOA建模分析与验证方面已有一定的研究基础，具体为服务选择与合成方法研究；建立了服务相容性谱系理论，可解释多种服务相容性的统一框架；等级化服务可替换性分析方法研究；服务（降级）替换机制；基于时间的QoS建模以及复杂组合服务QoS的计算方法；以数据为中心的业务流程管理与分析方法研究等。在基于混成系统的物联网服务建模与验证方面，利用混成系统的离散指令与物理设备连续行为刻画能力，提出一种基于混成系统理论的物联网服务建模与验证框架，其中原子服务由物理设备与相应的控制系统共同组成的混成系统构成，组合服务再由分布式混成系统组织各原子服务构成。这一物联网服务建模与验证框架有效地统一了物理设备、控制系统与组合服务系统，从而具备了对物联网服务的深度建模与全面验证能力。

在硬件方面，该项目采用的ZedBoard的控制芯片为Xilinx Zynq Z-7020芯片，内含Cortex-A9双核处理器，最高主频可达800MHz；以及85K Logic Cell （约为1.3M 逻辑门）。Zynq-7000作为一个特性齐全的处理平台，通过硬件、软件和 I/O 可编程性实现了扩展式系统级差异、集成和灵活性。Zynq-7000有七个器件，分别为Z-7010、 Z-7015、 Z-7020、 Z-7030、 Z-7035、Z-7045、 Z-7100，每款产品均采用带有NEON及双精度浮点引擎的双核ARM Cortex-A9 MPCore处理系统，该系统通过硬连线完成了包括L1/L2缓存、存储器控制器以及常用外设在内的全面集成，不仅能在开机时启动并运行各种独立于可编程逻辑的操作系统，还可以根据需要配置可编程逻辑。目前，zynq-7000系列中的基本款Z-7010和Z-7020具有低成本和低功耗特点，这里采用了Z-7020芯片。

ZRobot-III系列智能小车的底板作为一块扩展板，提供PMOD接口扩展、锂电池充电接口、1个逻辑摄像头接口、1个蓝牙接口、2个编码器接口、2个电机接口、2个舵机接口、3个超声波模块接口、4口USB HUB、5个光电巡线模块接口。

### 本项目将充分利用ZedBoard开发套件提供的软硬件资源，所搭建的智能小车自主驾驶系统将会用到Zynq平台处理系统（PS）内的双核A9处理器、DDR存储器等构建平台，运行Linux系统作为主控制平台，利用SD卡存储boot文件和系统文件，利用链接到可编程逻辑（PL）上的GPIO接口输出PWM波，以及VGA接口输出视频流等，整个系统充分利用了板卡自带的资源。

### 三、预期结果

### 预期实现的结果：

通过信息­物理融合系统（Cyber-Physical System, CPS）服务化算法来构建小车的自主驾驶系统，体现在小车能够感知周围环境，做出相应的反应，例如给小车发出一个加速的信号，但是小车进行计算判断出这时加速将会与前车发生碰撞，那么它就不会听从人为指示，而是根据自身状况和周边环境采取正确的动作，这就避免了交通事故的发生，一旦前车由于某种原因脱离了安全距离门限，后车则有可能依据自主判断再次加速。

### 对他人的意义：

CPS是综合计算、通讯和物理进程的复杂系统，是对现实社会、经济、工业等众多关键应用的系统级抽象。由于CPS天然的计算单元+通讯+分布式设备组件特点，利用面向服务的架构（SOA）对CPS进行建模与组合验证的研究已经成为一种典型的CPS研究技术路线[]。但由于CPS系统与物理设备运行状态与运行模式的强关联性，且CPS大都属于“安全关键型系统”或“任务关键型系统”，对CPS物理设备行为的建模与验证成为了将SOA引入CPS研究中不可忽视的重要环节，特别是当物理设备行为成为服务组件的核心接口内容的时候，如何支撑CPS物理行为建模，并对具有混成行为接口特征的CPS计算服务组件进行相容性、安全性验证具有重要的科学意义。

将自主驾驶汽车应用于实际生活中，也具有以下显著意义：

1. 使车辆行为变得可预测。人类驾驶员驾驶行为受到驾驶员驾驶技能、理解能力、个人习惯、心理状态等多方面因素影响，具有很强的随机性。而对于自主驾驶系统而言。由于排除了这些因素的影响，显然其行为将更具有可预测性。而这一点在安全性方面所带来的好处无疑将是非常大的。
2. 提高了系统对环境的反应速度。大量实验表明，人类驾驶员对于外界刺激的反应速度是缓慢的，驾驶员刹车反应时间一般在0.4~1.5秒之间，转向反应时间则更长。而采用自主驾驶后则有可能将刹车反应时间控制在0.3秒以内，甚至更小，从而使行车间距大大减小。显然，这对增加公路运输能力将具有重要意义，同时也增强了车辆行驶的安全性。
3. 改善了环境测量精度。人类驾驶员对于环境的感知精度是很有限的，而自主驾驶系统通过配置合适的环境传感器，将会大大提高环境的感知精度，从而提高车辆稳定性。
4. 杜绝了因驾驶员精神和体力因素引起的交通事故。大量交通事故都是由于驾驶员疲劳、醉酒、思想走神等个人精神状态问题而造成的。而自主驾驶将杜绝这类事故发生。

### 项目的创新：

项目的创新主要体现在CPS系统的构建方法——面向服务的CPS系统构建方法上，作为其实现案例的自主驾驶系统，在整个系统的构建上采用服务化方法能够进行组件化的建模，将一个复杂的物联网系统拆分成若干个小的成员系统，成员系统之间通过接口交互，隐藏了控制规则，降低了分析和验证的复杂度。作为其最终产出物的能自主驾驶的智能小车，其自主性也是一个特色，即它能够综合利用自身所具有的感知、决策和操纵能力，独立地进行汽车驾驶工作，与周边环境协同。

### 四、项目实施评估

### 项目实施过程的计划：

|  |  |
| --- | --- |
| **2015年1月-2月** | 查阅相关资料，完成项目计划书，确定项目方案； |
| **2015年3月** | 熟悉Zedboard配置和Vivado开发集成环境，测试辅助传感器的功能；  熟悉Linux操作系统，学习客户端开发流程，熟悉无线通信的配置过程； |
| **2015年4月** | 在PS端移植Linux操作系统，Pmod模块的调用和移植；  混成系统的建模与验证； |
| **2015年5月** | Android客户端开发，PID算法对小车车速控制；  基于SOA的CPS服务化系统实现；  系统各模块整合，完成硬件与服务器、客户端的通信； |
| **2015年6月** | 系统软硬件综合调试与改进，进一步优化代码； |
| **2015年7月** | 系统测试，完善性能；  整理相关资料，提交代码和项目文档，准备结题。 |

### 遇到的难点评估：

CPS服务化系统的实现是本项目的一个重难点，其中涉及了很多数学、物理知识。基于混成行为接口的CPS层次化建模与分解设计，基于混成行为接口的CPS计算服务组件交互语法、相容性研究，CPS具体行为的安全性与可达性验证，都将是本项目的难点所在。需要解决以下关键科学问题：

1. 对于任意给定的目标CPS服务的计算行为和一组暴露了行为的CPS计算单元，是否存在一种代理，可自动协调这组单元的行为，实现目标计算单元的行为？
2. 如果存在，这种代理方案是唯一的吗？如果不唯一，获得全体方案的算法是什么？
3. 对于目标CPS计算单元的性质要求，形成的代理方案是否满足？如果不满足，能否列举其反例？
4. 为解决上述问题建立的形式化系统具有什么抽象代数性质，形成哪类代数系统？

### 项目组成员工作的分配：

|  |  |
| --- | --- |
| **钱凯雨** | Linux系统移植，传感器数据获取，Android客户端开发。 |
| **叶林** | 对混成系统进行建模和验证， CPS服务化系统实现。 |
| **常玉虎** | 电机转速控制，PID算法实现，Pmod模块移植。 |

### 已完成工作的情况：

ZRobot-III智能小车的SD卡配置，包括boot和基本Linux文件系统的加载，可以通过web和Android客户端控制小车的前进、后退、转向和停止操作。

### 五、相似项目说明

在往届项目中，有多组关于智能小车的项目，但大多数都是实现了自动驾驶系统。本项目拟实现智能小车的自主驾驶系统。汽车自主驾驶就是由机器代替人类驾驶员驾驶汽车，与自动驾驶的区别在于：自动驾驶侧重于强调驾驶动作是由机器来完成的，因此所有由机器来产生驾驶动作的系统都可以称为自动驾驶，其包括有遥控驾驶、半自主驾驶和自主驾驶等。自主驾驶特指综合利用自身所具有的感知、决策和操纵能力，独立地进行汽车驾驶工作，而不需要人类帮助。一个理想的汽车自主驾驶系统应该像人类驾驶员一样，能对车辆运动及环境变化做出实时的判断，实时地改变车辆运动，完成车辆驾驶任务。

在本项目的核心系统实现中，通过对混成系统动态建模和形式化验证，建立基于SOA的CPS建模与验证方法，结合经典的微分或代数方程和单一变量的微分方程提出CPS服务架构，实现智能小车感知周边环境并做出相应决策的能力。

## 第三部分 补充说明

在国家自然科学基金“SOA的等级化服务替换理论与机制研究”（60873115）资助下，以研究等级化服务替换为主线，从功能属性和非功能属性两个方面系统探索服务组合和替换等前沿问题，在服务相容性定义、替换服务的组织、等级化替换机制设计、替换谱系的检验技术、复杂服务的QoS建模与计算等五个方面取得了创新性成果：

1. 首次提出了服务相容性谱系理论；
2. 形成了可解释迄今为止各类相容性的统一框架；
3. 设计了基于服务契约的等级化服务替换方法；
4. 开发了降级服务替换机制；
5. 实现了基于时间的QoS建模以及复杂组合服务QoS的计算方法。

上述关于服务计算的研究为软件服务化、服务建模、服务组合、服务相容性分析、可替换性验证等都为本项目打下了服务计算领域的基础。

基于之前的课题，诞生了一个新的生长点——混成系统服务、物联网服务以及CPS建模与验证研究。经过1年多的研究，课题组核心成员和博士生已经对混成服务拓广到CPS面临的挑战、问题和有成效的技术路线和研究方法有了较为清晰的认识，一些初步探索已初见成效。