



## 基于 FPGA 的汽车电子节气门 ECU 的设计与实现

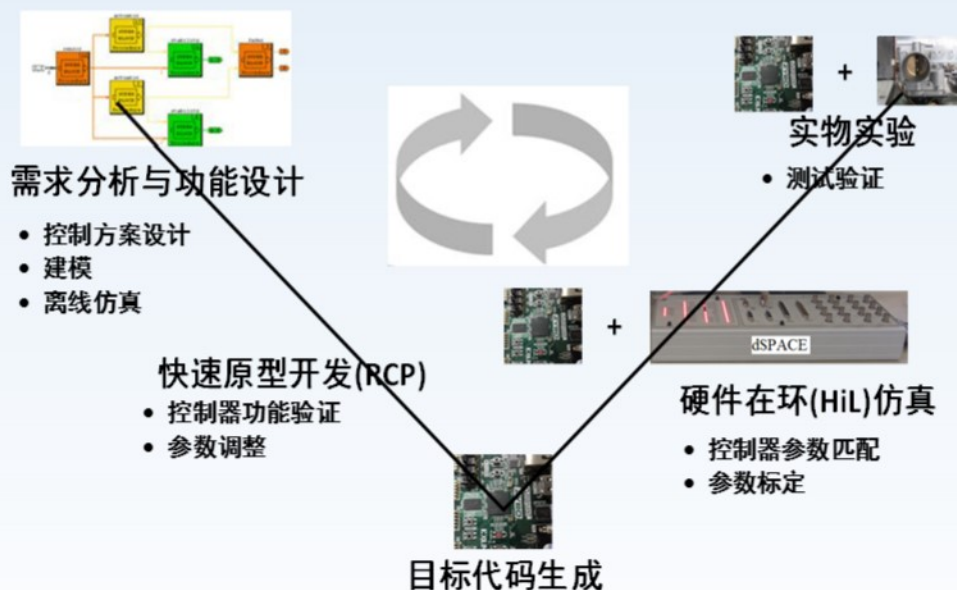
### 算法研究背景及意义:

模型预测控制具有前馈-反馈结构、可以处理多变量、多输入、多输出系统。

对于复杂的汽车控制系统，模型预测控制有很好的应用前景。

针对其计算负担较大，实时性较差的缺点，用FPGA进行算法硬件加速。

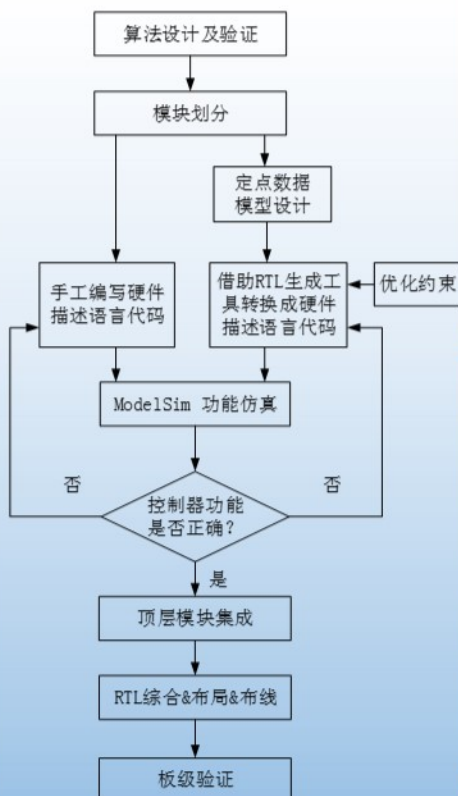
本项目基于FPGA实现约束线性模型预测器，并将其用在汽车电子节气门实物控制上。



### 项目开发流程

按照上图传统汽车电子ECU开发典型的V型开发流程

- 1、模型预测控制算法程序化，用计算机语言描述数学公式；电子节气门模型的建立，在MATLAB中进行功能性验证；
- 2、快速原型开发，控制器实时运行在开发工具中，用以控制实物，即模拟的控制器+真实的被控对象，验证控制算法功能的同时也验证模型的正确性；
- 3、硬件在环开发，控制器运行在实际硬件（FPGA）中，控制虚拟的被控对象，即真实的控制器+虚拟的被控对象；
- 4、在验证控制算法的有效性和实时性后就能生成控制器的硬件代码；
- 5、通过上述充分的算法验证后进行实物控制，以完成整个控制器的设计。



### 基于HLS的模型预测控制算法FPGA实现流程

- 1、模型预测控制算法的C语言描述和验证，此项借助软件VS2008和MATLAB；
- 2、浮点C到定点C的转换，从而优化算法的运行速度和资源占用大小；
- 3、Vivado HLS将C算法转换为硬件描述语言；
- 4、接口算法的手动编写，验证硬件语言的功能正确性；
- 5、板级验证，FPGA和dSPACE联合仿真，闭环控制。

先进控制算法的FPGA实现与应用，理论和实践相结合，为模型预测控制算法将来应用在实车电子控制中奠定了实践基础

### 网站信息:

<http://www.openhw.org/project/index.php?act=view&id=2781>

### 团队信息:

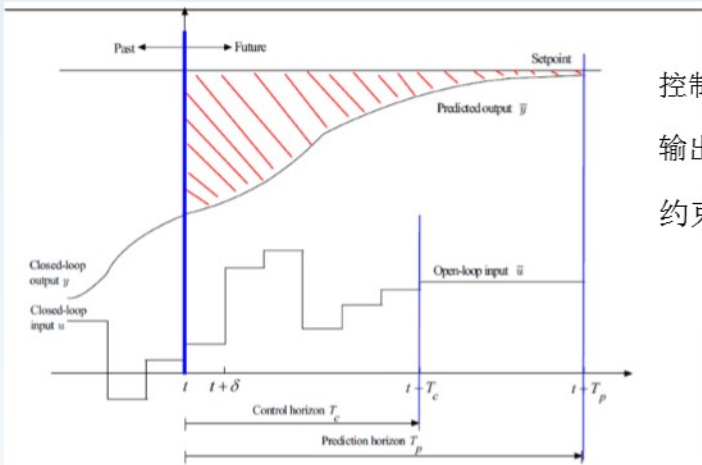
成员: 梅钦、季冬冬

指导教师: 许芳、陈虹

学校: 吉林大学控制科学与工程系

汽车仿真与控制国家重点实验室

## 约束模型预测控制算法简介



控制约束:  $u_{\min} \leq u(k+i|k) \leq u_{\max}, i=0,1,\dots,p-1,$

输出约束:  $y_{\min} \leq y(k+i|k) \leq y_{\max}, i=0,1,\dots,p.$

约束优化问题:  $\min_{U_k} J(y(k), U_k) = \sum_{i=k+1}^{k+p} (r(i) - y_p(i|k))^2$

### 算法步骤:

- 1、预测系统未来动态;
- 2、(数值)求解优化问题;
- 3、将优化的第一个元素(或者说一部分)作用于系统。

### QP问题求解: 粒子群优化算法 (PSO)

速度:  $v_j^{k+1} = wv_j^k + c_1r_1(pb_j^k - x_j^k) + c_2r_2(pg^k - x_j^k) \quad j=1 \cdots N$

位置:  $x_j^{k+1} = x_j^k + v_j^{k+1} \quad j=1 \cdots N$

初始化算法参数  $X, V, P_j, P_g$

更新粒子的速度和位置

是否满足约束?

X=约束值

根据适应度函数更新  $P_j, P_g$

n = n\_max?

得到最优解  $\Delta U = P_g$

Vj: 第j个粒子的移动速度

Xj: 第j个粒子的位置

Pb: 第j个粒子的最优位置

Pg: 全局最优位置的位置

W: 惯性权重

c1、c2: 加速度权重

r1, r2: 随机数, 代表不确定因素

初始化:  $Sx, Su, Sd, \tau, Sx, b, Su, b, Sd, b, \tau, b, H, \Gamma y, \Gamma u, \dots$

给定期望轨迹  $R(k+1)$ , 获得测量值  $x(k), d(k)$

计算  $Ep(k+1|k), G(k+1|k), b(k+1|k)$

求解QP问题

QP问题有解?

控制器失败另行处理

控制增量  $\Delta u(k) = [1 \ 0 \ \dots \ 0] \Delta U^*(k)$

将控制量  $u(k) = u(k-1) + \Delta u(k)$  作用于系统

特点: 1、基于模型的预测

2、滚动优化

3、前馈-反馈控制结构

4、显式主动处理约束

.....

网站信息:

<http://www.openhw.org/project/index.php?act=view&id=2781>

团队信息:

成员: 梅钦、季冬冬

指导教师: 许芳、陈虹

学校: 吉林大学控制科学与工程系

汽车仿真与控制国家重点实验室