

数字舵机精确控制方法研究与实现

刘沛尧¹, 彭舒岗², 李建民¹, 吴柯锐³

(1. 中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 太原 030051;

2. 常熟市标准件厂, 江苏 常熟 215500; 3. 空军驻山西地区军事代表室, 太原 030024)

摘要: 文章分析了实现数字舵机精确控制的必要条件, 研究了弹载计算机与舵机控制系统 (MACS) 之间信息传输方式, 提出了一种实现弹载计算机与舵机控制系统之间信息准确交互的方案, 解决了舵机数字控制系统指令传输误码问题, 波特率达到 230 400 bps, 并完成了数据接收、实时处理及当前舵位信息回送; 设计了基于 TMS320F2812 的数字舵机控制系统, 实现对舵机的精确控制, 频率达到 16 Hz。

关键词: 弹载舵机; 弹载计算机; 精确控制; 信息交互

Research and Implementation for Method of Precise Digital Control of Steering Gear

Liu Peiyao¹, Peng Shugang², Li Jianmin¹, Wu Kerui³

(1. Ministerial Key Lab of Instrumentation Science and Dynamic Measurement, North University of China,

Taiyuan 030051, China; 2. Changshu Standard Parts Factory, 215500, China;

3. Shanxi Region Military Representatives Office of Air Force, Taiyuan 030024, China)

Abstract: This paper analyzes the necessary condition to achieve precise control of the steering gear. Information transmission between the onboard computer and the steering gear control system (SGCS) was studied, and a method to realize the accurate information interaction between onboard computer and the SGCS was proposed. The error code problem of command transmission was solved. In addition, a data reception, processing and real-time information on current rudder position loopback were completed. Digital servo control system was designed based on TMS320F2812 for achieving precise control of the steering gear.

Keywords: missile actuator; onboard computer; precise control; information interaction

0 引言

精确打击已成为现代战争的主要特征, 导弹日益成为各国争相发展的武器门类。作为导弹重要组成部分, 导弹舵机的精确控制一直是导弹研究领域研究的重点^[1], 因此实现导弹舵机精确控制就显得特别重要。

要实现导弹舵机的精确控制, 控制系统必须满足几个必要条件: (1) 要有一个稳定可靠的硬件控制系统; (2) 舵机控制系统要有优的控制算法将控制指令高效准确地执行; (3) 保证舵机控制系统能够准确接收到来自于弹载计算机的控制指令。随着不完全微分 PID^[2]、FUZZY-PID^[3]以及神经网络^[4]等技术在控制领域应用与发展, 实现控制指令的高效准确执行的途径很多, 而且技术成熟, 本文不再赘述。

针对弹载计算机与 SGCS 之间信息传输, 笔者做了大量研究分析, 综合前人经验, 提出了一种基于有限状态机 (FSM) 的可靠快速信息传输方案, 设计了抗干扰性能极强的通信电路。基于 TMS320F2812^[5]设计了四路舵机数字控制系统, 并实现了对舵机的精确控制。

1 信息传输研究

SGCS 以控制方式可分为模拟控制与数字控制两种。模拟舵机控制系统的指令是来自于弹载计算机的电压信号, 经舵机控制系统的 AD 采集得到指令信号。模拟电压容易受到干扰, 因此无法实现精确控制。近几年迅速发展的数字控制系统弥补了模拟控制系统电压受干扰的问题。然而大多数数字控制系统通信采用标准异步通信协议, 它虽然应用广泛, 但数据误码率较高, 传输效率低, 容易受到外界干扰, 致使接收指令出现错误, 导致舵机控制出现问题, 这是导弹控制的重要隐患。并且数据接收、数据判断及处理过程没有得到合理安排, 致使程序冗余, 执行效率低, 数据处理能力受限, 对舵机实时控制产生较大影响。为解决这一缺陷, FSM 的通信思想被提出^[6-8]。通常的 FSM 有过程模式和状态模式两种, 他们对各状态分工比较明确, 性能得到不少改善。然而过程模式和状态模式的 FSM 实现方法都未能清晰地表达 FSM 中所有元素以及这些元素之间的关系, 也不能有效地实现功能和结构的复用, 并且程序修改维护困难, 代码重用率低, 执行效率低, 不能保证指令信息的准确快速接收和及时处理。

本文通过对状态模式和过程模式 FSM 进行分析研究, 提出了一种对 FSM 的结构和算法进行改进的方法, 大大改善了

收稿日期: 2014-01-23; 修回日期: 2014-03-13。

作者简介: 刘沛尧 (1987-), 男, 在读硕士, 主要从事动态测试和自动控制方向的研究。

原 FSM 程序执行效率低, 信息不能实时接收和处理的不足。并且解决程序修改和维护困难以及功能和结构复用性差的问题。并通过笔者设计的四路舵机控制系统证明其可行性, 对导弹舵机数字控制具有重要意义。

2 通信电路设计

一个稳定可靠的通信电路是信息准确传输的基本条件, 导弹飞行过程中周边环境复杂, 未知因素很多, 因此设计一个抗干扰性能强, 能适应恶劣环境的通信电路十分必要。差分电平的通信方式大大提高了电平传输方式的抗干扰性能, 然而在恶劣环境下还是会受到干扰。笔者对差分电平通信电路做了修改, 如图 1 所示。

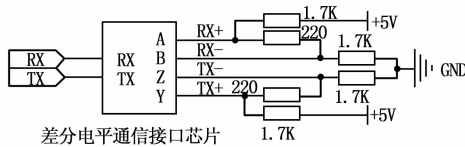


图 1 通信接口电路

在 RX+ 和 RX-, TX+ 和 TX- 之间各增加 3 个电阻, 利用外部电压使差分电平稳定在某个特定的电平, 这样外界干扰不能大幅影响差分电平值, 保证了传输的准确。稳定的电平通过计算配合不同的电阻获得, 本设计为 300 mV。

3 FSM 的不足与改进

3.1 过程模式

过程模式是 FSM 的一种很常用的结构化实现方法, 它用全局状态变量和嵌套的 Case 语句实现其功能。外层的 Case 语句用来判断选择当前的状态, 而里面一层的 Case 语句是用来判断在相应状态下发生的事件, 从而确定执行相应的转换动作。

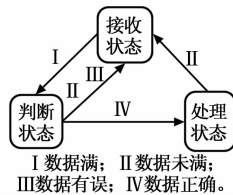


图 2 数据处理状态图

如图 2 所示, 是一个数据通信例子, 由其状态转化图可以看出这种方法状态转化杂乱^[8]。从接收数据到数据处理必须逐步执行, 致使数据不能及时处理, 大大影响了控制系统的实时性。

3.2 状态模式

State 模式是一种用面向对象的方法实现 FSM 的模式^[9], 它把所有与某个特定状态相关的行为放入一个 State 对象之中, 解决了过程模式中含有的数量巨大的多分支条件语句。也改进了过程模式所存在的一些不足, 通过类继承能够容易地增加新状态, 且功能复用在一定程度上得到实现。但 State 模式程序复杂, 对于计算机来说具有极大的优越性, 而对于舵机控制系统而言, State 模式会增加系统信息处理的负担, 严重影

响系统的时效性和稳定性。因此, State 模式不能用于像舵机控制系统这样的单片机系统。

3.3 对 FSM 的改进

从 3.1 和 3.2 节中我们看到, 过程模式和状态模式的 FSM 实现方法都未能完成弹载计算机与 MACS 之间信息的快速准确传输, 也不能及时地处理接收到的数据。

为了克服现有 FSM 实现方法的上述问题, 本文提出了一种高度结构化的框架^[10]。在 FSM 框架中定义了“母状态”, 在“母状态”中又定义了“子状态”。该框架清晰地表达了 FSM 中事件、原状态、转换事件、目标状态及转换动作等元素, 使 FSM 能够灵活的进行状态转换。各状态将状态退出动作、转换动作和状态进入动作从结构中分离出来, 便于 FSM 实时地处理接收的数据。

图 3 是改进后的 FSM 事件触发状态转换的一个简单顺序图^[11], 它描述了事件索引及 FSM 顺序执行一系列动作(原状态退出、转换动作、目标状态进入)的交互情况^[12]。当事件到达时, 通过当前状态索引和事件判断来确定下一步相应的目标状态。目标状态确定后, 退出当前状态, 进入目标状态。在进入目标状态后, 通过事件处理来确定“子状态”中要执行的子目标状态。同“母状态”一样, “子状态”可以通过事件判断退出子状态, 重新回到母状态。

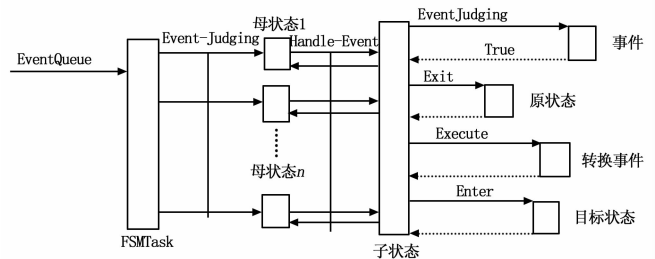


图 3 改进后的 FSM 状态转换顺序图

4 舵机控制系统设计

舵机控制系统采用 TI 公司的 TMS320F2812 芯片作为主控芯片^[13-15], 搭建数字伺服控制系统, 可以实现对四路舵机进行数字伺服控制。系统采用位置环、速度环和电流环三闭环控制, 实现高性能的控制。如图 4 所示。

其位置环为外环, 对控制其主要控制作用; 速度环配合位置环使位置控制有更快的响应速度和控制精度; 电流使系统电流不至于太大导致电路中的部件烧坏, 起到系统保护作用。控制算法采用不完全微分 PID 实现舵机精确控制。该系统的通

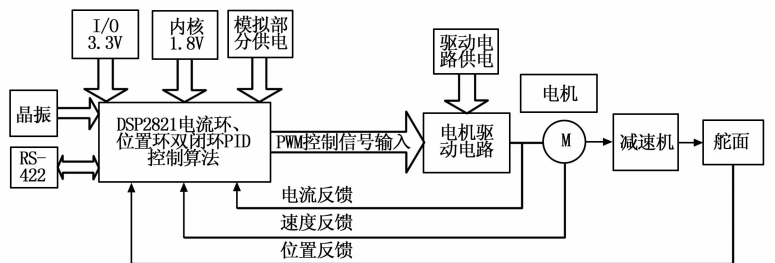


图 4 舵机控制系统结构图

