

文章编号: 2095-2163(2019)01-0248-04

中图分类号: TP273

文献标志码: A

舰载对空导弹的自动装载控制系统优化设计

任彦朋

(中国人民解放军 91640 部队, 广东 湛江 524064)

摘要: 针对当前舰载对空导弹的自动装载控制系统集成性和智能性不好的问题, 提出一种基于模糊 PID 和嵌入式集成控制的舰载对空导弹的自动装载控制设计方法。设计的舰载对空导弹的自动装载控制系统分为吊装力学参数计算模块、总线集成控制模块、机械臂输出控制模块、人机交互模块, 采用嵌入式的 ARM 和扩展总线技术进行人工智能环境下的舰载对空导弹的自动装载控制指令传输和信息调度, 采用模糊 PID 控制算法进行舰载对空导弹的自动装载控制算法优化设计。采用 TMS320VC5509A 作为 DSP 智能信息处理终端, 结合 6 线同步串口总线控制技术, 实现自动装载控制系统的硬件设计。系统测试结果表明, 采用该系统进行舰载对空导弹的自动装载控制的人机交互性较好, 总线控制能力较强, 提高了导弹装载的控制稳定性和效率。

关键词: 舰载对空导弹; 自动装载; 控制系统; 人工智能

Optimal design of automatic loading control system for shipborne air-to-air missile

REN Yanpeng

(No. 91640 Troops of PLA, Zhanjiang Guangdong 524064, China)

[Abstract] A design method of automatic loading control for ship-to-air missile based on fuzzy PID and embedded integrated control is proposed to solve the problem of poor integration and intelligence of ship-to-air missile automatic loading control system. The automatic loading control system of shipborne air-to-air missile is divided into four modules: hoisting mechanics parameter calculation module, bus integrated control module, robot arm output control module, man-machine interaction module. The embedded ARM and extended bus technology are used to transmit the automatic loading control instruction and information scheduling of shipborne air-to-air missile in artificial intelligence environment. Fuzzy PID control algorithm is used to optimize the automatic loading control algorithm of shipborne air-to-air missile. The hardware design of automatic loading control system is realized by using TMS320VC5509A as the intelligent information processing terminal of DSP and the control technology of six-wire synchronous serial port bus. The system test results show that the system has good man-machine interaction and strong bus control ability for ship-borne air-to-air missile automatic loading control, and improves the stability and efficiency of missile loading control.

[Key words] shipborne air-to-air missile; automatic loading; control system; artificial intelligence

0 引言

某型舰载对空导弹是实现空对空目标精确制导攻击的舰载对空制导导弹, 上舰装载是实现该型舰载对空导弹发射准备的关键环节。为了提高舰载对空导弹上舰装载的智能性, 需要对该型导弹的装载系统进行智能控制设计, 结合人工智能控制算法和控制系统的集成设计, 提高舰载对空导弹的自动装载的智能性和稳定性, 从而提高舰载对空导弹的装载效率, 研究舰载对空导弹的上舰装载的自动控制系统, 对提高导弹部队的技术保障能力方面具有重要意义, 从而提升导弹技术准备过程的效率^[1]。

当前, 对舰载对空导弹的上舰装载采用人工吊装和机械臂吊装相结合的方式, 受到装载环境因素和导弹位姿的不确定扰动等因素的影响, 导致装载控

制的稳定性不好^[2]。传统方法对舰载对空导弹的自动装载优化控制方法采用正反向旋转双轴调节方法, 结合装载机械臂的模糊控制律进行自动装载设计, 提高了装载过程的稳定性, 然而, 随着不确定扰动因素的增强, 导致舰载对空导弹的自动装载的稳态输出控制性能不好, 为了提高舰载对空导弹的自动装载的输出平稳性, 进行舰载对空导弹的自动装载优化系统设计, 提出一种基于模糊 PID 和嵌入式集成控制的舰载对空导弹的自动装载控制设计方法。设计的舰载对空导弹的自动装载控制系统分为吊装力学参数计算模块、总线集成控制模块、机械臂输出控制模块、人机交互模块, 采用嵌入式的 ARM 和扩展总线技术进行人工智能环境下的舰载对空导弹的自动装载控制指令传输和信息调度, 采用模糊 PID 控制算法进行舰载对空导弹的自动装载控制算

作者简介: 任彦朋(1985-), 男, 大专, 主要研究方向: 舰空导弹总体技术保障。

收稿日期: 2018-11-05

法优化设计。基于嵌入式的 ARM 和 DSP 智能信息处理芯片,进行系统的硬件模块化设计,最后进行实验测试分析,展示了本文方法在提高舰载对空导弹的自动装载控制稳定性方面的优越性能。

1 舰载对空导弹的自动装载控制算法

1.1 控制原理和力学参数分析

为了实现对舰载对空导弹的自动装载控制系统设计,首先进行自动装载装置控制算法设计,结合模糊 PID 神经网络的控制进行装载过程的人工智能控制^[3],模糊 PID 神经网络系统结构模型如图 1 所示。

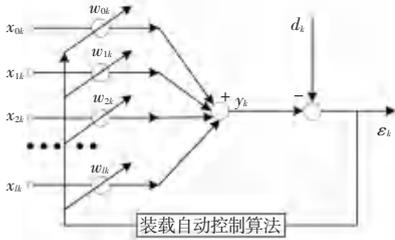


图 1 导弹装载的模糊 PID 神经网络系统结构模型

Fig. 1 Fuzzy PID neural network system structure model for missile loading

在图 1 所示的舰载对空导弹的自动装载性能控制的模糊 PID 控制模型中,导弹的自动装载的控制节点通过力学参数估计,进行装载过程中的助力调节,提高装载过程的稳定性,到 PID 网络在输入层,输入导弹的自动装载的力学参量,通过自适应加权控制方法进行模糊 PID 控制的强度调节,在输出层输出最优的舰载对空导弹的自动装载控制参数^[4],根据上述算法设计原理,得到输入到自动装载装置的力学参数为:

$$y_i^k = f\left(\sum_j^{N^k} w_{ij}^k y_j^{k-1} + b_i\right) \quad (1)$$

其中, N^k 是 k 层的模糊 PID 控制的导弹装载助力学传感器信息采集点数。在固定采样周期下,采用自适应模糊控制方法,得到输出层的导弹装载助力学参量自适应加权系数为:

$$\delta_i^k = (y_i^k - y_i^{k-1}) f'(y_i^k) f \quad (2)$$

此时,在 PID 的隐层采用自适应加权控制方法进行舰载对空导弹的自动装载的输出稳定性调节,学习系数表示为:

$$\delta_i^k = \sum_m w_{mi}^k \delta_i^{k-1} f'(y_i^k) \quad (3)$$

自动装载装置自适应调节的权值经过阈值加权和反馈修正后,得到舰载对空导弹的自动装载的惯

性力矩和吊装设备的输出转矩为:

$$\Delta w_{ij}^k = \eta \delta_i^k y_j^k \quad (4)$$

$$\Delta b_i = \eta \delta_i^k \quad (5)$$

其中, η 表示学习率。初始化模糊 PID 控制的权值 w_{ij}^k 和阈值 b_i ,用模糊学习和自适应位姿参量调节方法,进行装载过程中的导弹姿态调节,得到舰载对空导弹的自动装载的模糊 PID 控制的迭代式为:

$$w_{ij}^k = w_{ij}^{k-1} + \Delta w_{ij}^k \quad (6)$$

$$b_i = b_i + \Delta b_i \quad (7)$$

不断重复上述迭代,直到误差到达预设值,停止学习计算,进行舰载对空导弹的自动装载的位姿调节和自适应控制^[5]。

1.2 控制律的优化

根据模糊 PID 控制过程的力学参数分析结果,结合导弹装载的位姿参数解算模型,进行舰载对空导弹的自动装载的机械助力装载的力学模型构建^[6],得到助力装置的运动动能 T 和势能 V 分别描述为:

$$T = \frac{1}{2} M_{RL} \dot{X}_{RL}^2 + \frac{1}{2} M_{RR} \dot{X}_{RR}^2 + \frac{1}{2} J_{RL} \dot{\theta}_{RL}^2 + \frac{1}{2} J_{RR} \dot{\theta}_{RR}^2 + \frac{1}{2} M_p [(\dot{\theta}_p L \cos \theta_p + \dot{X}_{RM})^2 + (-\dot{\theta}_p L \cos \theta_p)^2] + \frac{1}{2} J_{p\theta} \dot{\theta}_p^2 + \frac{1}{2} J_{p\delta} \dot{\delta}^2 \quad (8)$$

$$V = M_p g L \cos \theta_p \quad (9)$$

采用位姿参量自适应反馈调节方法,进行导弹装载助力学传感信息的融合跟踪识别^[7],在零势能面得到舰载对空导弹的自动装载控制的自适应运动学方程为:

$$P_{in} = C_L \dot{\theta}_{RL} + C_R \dot{\theta}_{RR} - (C_L + C_R) \dot{\theta}_p \quad (10)$$

在 6 自由度空间内进行导弹的位姿惯性参数调节,在受到小扰动力矩作用下,得到最优位姿参数解算方程为:

$$z(t) = \sum_{i=1}^p s_i(t) b_i(\theta_i) + n(t) \quad (11)$$

利用自适应 PID 模糊跟踪学习方法,进行导弹装载过程中的位形和姿态跟踪,得到微小调节误差分布为:

$$b_i(\theta_i) = \int_{-\pi}^{\pi} a(\theta) g_i(\theta - \theta_i) d\theta \quad (12)$$

采用惯性参量融合方法实时跟踪导弹装载的力学参数和末端位姿,构建时滞 2 自由度控制模型为:

$$\sum_{k=1}^m [\theta_{jk}(n+1) - \theta_{jk}(n)] q_k = \sum_{k=1}^m \eta [\lambda_k -$$

$$\delta_j^2(n)] \theta_{jk}(n) q_k + \eta \sum_{k=1}^{j-1} \lambda_k a_{jk}(n) q_k \quad (13)$$

以导弹装载过程中的输出力矩和转向力矩为被控对象,结合模糊PID控制和Lyapunov稳定性调节技术,实现对舰载对空导弹的自动装载的控制律优化设计。

2 系统的硬件设计与实现

在上述算法设计的基础上,进行舰载对空导弹的自动装载控制系统的硬件设计,构建模糊控制约束参量模型,对舰载对空导弹的自动装载的自动装载装置控制系统进行硬件开发,设计的舰载对空导弹的自动装载控制系统分为吊装力学参数计算模块、总线集成控制模块、机械臂输出控制模块、人机交互模块,采用嵌入式的ARM和扩展总线技术进行人工智能环境下的舰载对空导弹的自动装载控制指令传输和信息调度^[8],对各个功能模块的开发设计描述如下:

(1) 吊装力学参数计算模块。吊装力学参数计算模块采用AD采样方法进行力学参数采集和计算,结合信息融合跟踪和多传感器智能识别方法,进行力学参数分析,提高对导弹装载过程中的智能控制能力。采用D/A转换器输出舰载对空导弹的自动装载性能测试信息,在物理链路层中负责提供PCI总线接口,实现对舰载对空导弹的自动装载的信息检测。AD模块采用DS18B20作为外围器,采用32位嵌入式采样技术进行力学参数分析,得到模块电路设计如图2所示。

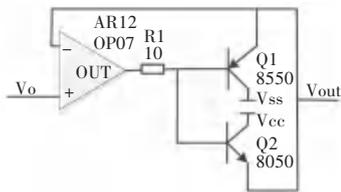


图2 吊装力学参数计算AD模块

Fig. 2 AD module for calculating mechanical parameters of hoisting

(2) 总线集成控制模块。总线集成控制模块采用VIX总线控制技术,根据ARM嵌入式控制芯片进行舰载对空导弹的自动装载的模糊PID控制和自动装载装置状态信息采集,在主机模块中进行集成信息处理,结合ZigBee网络传输协议进行硬件接口设计,设计一个计数器模块,进行舰载对空导弹的自动装载控制系统的时钟中断控制,总线集成控制模块电路设计如图3所示。

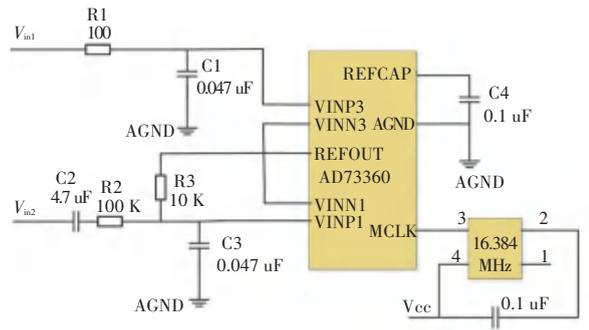


图3 总线集成控制模块电路设计

Fig. 3 Bus integrated control module circuit design

(3) 机械臂输出控制模块。机械臂输出控制模块是整个自动控制系统的核心,通过浮点DSP拷贝舰载对空导弹的自动装载控制指令到RAM缓冲区,采用VXI系统总线发送数据到主控计算机,采用4片AD8582的进行AD采样和数据转换控制,利用DAVICOM公司的DM9000网络模块进行导弹自动装载界面的射频接口设计,得到机械臂输出控制模块电路设计如图4所示。

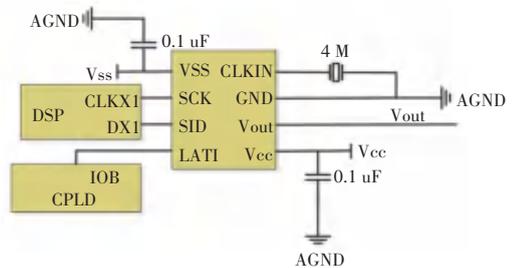


图4 机械臂输出控制模块

Fig. 4 Manipulator output control module

(4) 人机交互模块。人机交互模块采用TMS320VC5509A作为DSP智能信息处理终端,结合6线同步串口总线控制技术进行人机交互设计,采用嵌入式的ARM和扩展总线技术进行人工智能环境下的舰载对空导弹的自动装载控制指令传输和自适应调度,用DSP进行多通道的信息接口设计,在信息界面的人机交互液晶现实中,以Vout作为导弹自动装载控制系统的驱动电压输出终端,采用MVB集成控制方法,实现自动装载控制系统的可编程逻辑控制,综上分析,得到本文设计的舰载对空导弹的自动装载控制的人机交互模块电路设计如图5所示。

根据上述对导弹自动装载界面和信息系统的硬件模块化设计,在PLC逻辑可编程环境下,通过集成电路和软件开发方法,实现对舰载对空导弹的自动装载控制系统的集成设计和开发。

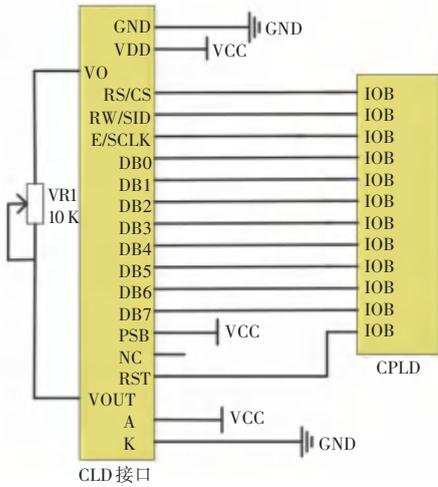


图 5 人机交互模块接口电路设计

Fig. 5 Interface circuit design of man-machine interaction module

3 实验测试分析

为了验证本文设计系统在实现舰载对空导弹的自动装载性能优化中的应用性,进行仿真实验,实验中控制算法设计采用 Matlab 7 实现,舰载对空导弹的自动装载的自动装载装置模式设定为 SPI 和 PSI 2 种工况模式,对导弹装载的位姿和力学参数数据采集采用 4 路隔离,16 路差分 AD 采样方法,采用 8 路 TTL 进行力学参数的总线传输控制,结合 32 位的传感器进行控制参量采集和信息融合,通过 TTL、RS232、RS422、RS485、USB、CAN、以太网、LVDS、1553B 等接口进行数字接收,系统采用 2 个 14 位模拟输入通道进行控制指令输入,配有双通道 100MS/s 同时采样功能,导弹装载的控制指令通过 AC、DC 耦合,最大可组合成 4 通道,根据上述系统设定,进行控制系统测试,得到控制性能曲线输出如图 6 所示,位姿控制误差对比见表 1。分析上述仿真结果得知,采用本文方法进行舰空导弹的自动装载控制的输出稳定性较好、误差较低、性能优于传统方法。

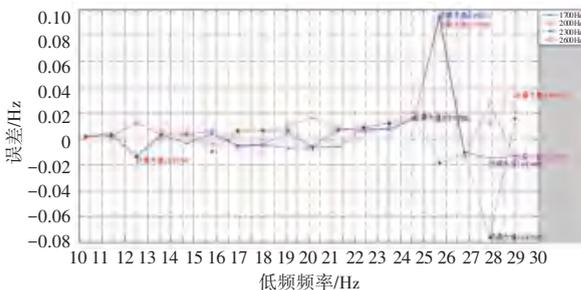


图 6 舰空导弹的自动装载控制性能测试

Fig. 6 Automatic loading control performance test of ship-to-air missile

表 1 装载位姿调节误差

Tab. 1 Loading control error		/mm	
迭代次数	本文方法	反演积分控制	机械助力控制
10	0.234	0.433	0.636
20	0.125	0.352	0.435
30	0.116	0.211	0.324
40	0.083	0.122	0.213

4 结束语

对舰空导弹的装载系统进行智能控制设计,结合人工智能控制算法和控制系统的集成设计,提高舰载对空导弹的自动装载的智能性和稳定性,从而提高舰载对空导弹的装载效率,本文提出一种基于模糊 PID 和嵌入式集成控制的舰载对空导弹的自动装载控制设计方法。设计的舰载对空导弹的自动装载控制系统分为吊装力学参数计算模块、总线集成控制模块、机械臂输出控制模块、人机交互模块,采用嵌入式的 ARM 和扩展总线技术进行人工智能环境下的舰载对空导弹的自动装载控制指令传输和信息调度,采用模糊 PID 控制算法进行舰载对空导弹的自动装载控制算法优化设计。基于嵌入式的 ARM 和 DSP 智能信息处理芯片,进行系统的硬件模块化设计。研究得知,本文方法进行舰载对空导弹的自动装载控制的稳定性较好、装载位姿调节误差较小、满足设计指标。

参考文献

- [1] Koivumaki J, Mattila J. Stability - guaranteed impedance control of hydraulic robotic manipulators[J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2017, 22(2): 601-612.
- [2] Koivumaki J, Mattila J. Stability - guaranteed force - sensorless contact force/motion control of heavy - duty hydraulic manipulators [J]. IEEE Transactions on Robotics, 2015, 31(4): 918-935.
- [3] 王华,康荣杰,王兴坚,等. 软体弯曲驱动器设计与建模 [J]. 北京航空航天大学学报,2017,43(5):1053-1060.
- [4] 陈光荣,王军政,汪首坤,等. 基于主被动负载的负载独立口双阀节能控制系统研究 [J]. 北京理工大学学报, 2016,36(10):1053-1058,1064.
- [5] 陈光荣,王军政,赵江波,等. 基于虚拟分解控制的液压足式机器人单腿稳定阻抗控制[J]. 机器人, 2017, 39(5): 704-714.
- [6] 鞠晓东,郑振. 基于末端轨迹修正的导弹跟踪稳定性控制方法[J]. 智能计算机与应用,2018,8(2): 121-125.
- [7] 李可,米捷. 基于变结构 PID 的仿生机器人机电控制算法[J]. 河南工程学院学报(自然科学版),2016,28(2): 32-37.
- [8] 陆兴华,甄汉健,段五星. 嵌入式多模控制系统的容错性控制器设计[J]. 机械与电子, 2016,34(4): 62-65.