

运载火箭遥测参数起始电平自动判读 软件设计与实现

陈 策, 刘 靛, 吕长春, 黄 皓, 尹禄高

(北京宇航系统工程研究所, 北京 100076)

摘要: 为了提高运载火箭遥测参数起始电平的判读效率和覆盖性, 更好地满足高密度测试的需求, 在此基于 LabVIEW 平台和 ACCESS 数据库设计开发了一款遥测参数起始电平自动判读软件; 该软件融合了数据库模型、组播接收、全波道计算、全帧挑路、自动判读、包络分析、实时显示、故障报警等多个功能, 可实现遥测参数全波道数据的自动测试; 该软件在多个型号运载火箭测量系统综合试验中进行了应用, 高质量的完成了测试任务, 相比于传统人工判读模式, 在判读效率和精细化程度上具有明显优势。

关键词: 遥测参数; 起始电平; 自动判读

Design and Implementation of Automatic Interpretation Software for Initial Level of Launch Vehicle Telemetry Parameters

CHEN Ce, LIU Liang, LÜ Changchun, HUANG Hao, YIN Lugao

(Beijing Institute of Astronautical Systems Engineering, Beijing 100076)

Abstract: In order to improve the interpretation efficiency and coverage of the initial level of launch vehicle telemetry parameters, and meet the requirement of high-density, an automatic interpretation software was developed based on the LabVIEW platform and ACCESS database. The software integrates multiple functions, such as database model, multicast reception, full-frame routing, automatic interpretation, envelope analysis, real-time display, and fault alarm, which can realize automatic test of full-channel data of telemetry parameters. The software has been applied in the comprehensive experiments of multiple models of launch vehicle measurement system, and completed the test task with high quality. Compared with the traditional manual interpretation mode, the software has obvious advantages in interpretation efficiency and refinement.

Keywords: telemetry parameters, initial level, automatic interpretation

0 引言

运载火箭遥测系统主要用于监测火箭飞行过程中的工作状态, 将环境参数、电量参数、指令参数等多类型的状态参数统一编帧, 并通过射频传输至地面解调处理^[1]。在地面进行综合试验、出厂测试、靶场测试阶段, 遥测参数起始电平判读是全系统每次加电后的第一项检查, 也是极其重要的一项检查, 目的是确认加电后系统初始工作状态的正常与否^[2]。传统的起始电平判读主要通过人工打印判读, 即将所有遥测参数起始电平值打印成册, 由测试人员逐一确认, 存在较大的判读缺陷。

1) 极易误判漏判: 由于箭上遥测参数数量繁多, 传统人工判读方法完全取决于人员的细致程度, 很难保证判读的有效性, 经常出现漏判、误判等现象^[3], 不能在第一时间发现产品隐患, 导致后续出现产品恶化、损坏等情况。

2) 覆盖性严重不足: 由于打印出的起始电平仅挑选了

各遥测参数的其中一个波道的零位值, 并不包含参数的所有波道值, 无法确保参数的所有波道均采集正常, 甚至导致飞行后才发现某参数的部分波道值错误的情况。

3) 判读效率低下: 遥测参数起始电平判读是运载火箭各阶段试验过程每次加电后的第一项测试, 直接影响着后续测试流程。传统人工判读方法效率方面低下, 累计花费时间成本较多, 严重不符合高密度测试需求。

4) 精细化程度不够: 传统人工打印判读无法进行数据统计和挖掘, 缺乏对参数动态变化和数据包络的掌控。特别是在问题追溯时, 需要翻阅大量纸质数据, 很难找到数据异常的第一时刻, 影响问题排查。

针对上述问题, 本文设计一种遥测参数自动判读软件, 采用组播接收技术从网络端获取遥测全帧数据, 根据参数波道配置进行全波道数据挑路, 并与给定判据进行比对和包络分析, 实现遥测参数起始电平的自动判读和存储, 大幅提高了测试效率、覆盖性和精细化程度。

收稿日期: 2020-12-08; 修回日期: 2021-01-19。

作者简介: 陈 策(1989-), 男, 江苏宿迁人, 工程师, 硕士学历, 主要从事运载火箭电气测试方向的研究。

引用格式: 陈 策, 刘 靛, 吕长春, 等. 运载火箭遥测参数起始电平自动判读软件设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(7): 166-170.

1 总体方案设计

1.1 工作原理

运载火箭箭上遥测系统和地面测试系统基本工作原理如图 1 所示。箭上遥测系统中传输设备将环境参数、模拟量参数、指令参数等多类型遥测参数进行采集、转换、编帧, 通过射频天馈无线传输至地面测试系统; 地面测试系统通过地面接收天线接收箭上遥测射频信号, 进入地面检测站进行数据解调并将解调后的遥测全帧数据组播发送, 浏览微机连接交换机进行组播接收, 从而实现数据处理和显示^[4]。

自动判读软件安装在浏览微机中, 借用原有资源无需额外的硬件支持, 即可实现遥测参数起始电平的自动判读功能。

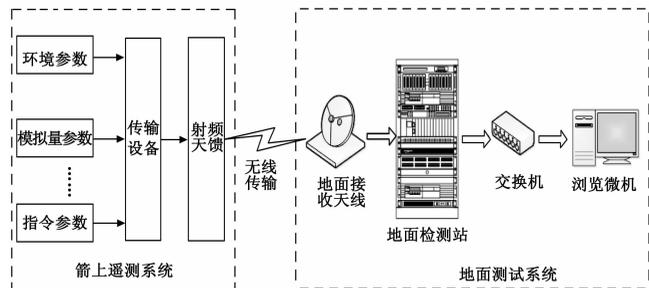


图 1 遥测系统基本工作原理

1.2 自动判读软件设计

自动判读软件主要包括组播接收模块、波道处理模块、数据提取模块、数据判读及包络分析模块、数据显示及报警模块、数据库配置及存储模块等, 具体组成如图 2 所示。工作过程中, 通过对遥测数据进行组播接收、全波道计算、参数值提取、数据判读、合格包络分析、数据显示存储等处理, 实现遥测参数全波道起始电平值的判读覆盖。

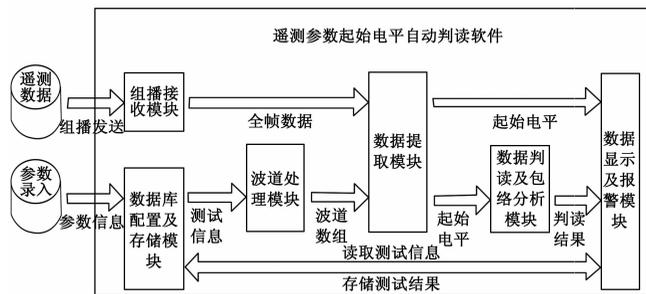


图 2 自动判读软件方案

组播接收模块主要用于接收地面遥测检测站发送的遥测全帧数据, 作为后续数据挑路、处理、显示的源数据。

波道处理模块主要用于读取数据库中配置的参数波道信息和测试信息, 根据被测参数信息索引全部波道, 获取被测参数的全部波道并排列为数组。

数据提取模块主要用于提取遥测参数的起始电平, 即以全帧数据作为数据源, 根据波道数组对不同类型遥测参

数进行分类索引挑路, 获取被测参数的全部波道的起始电平。

数据判读及包络分析模块主要是对参数的起始电平进行分析处理, 一是与给定参数范围进行“合格/不合格”对比, 二是与前期测试数据形成的包络范围进行“包络/不包络”分析, 给出综合判读结果。同时, 可根据当前起始电平在线更改参数范围和包络范围, 也可实现一键更新所有参数包络。

数据显示及报警模块主要用于显示被测参数的参数信息、起始电平和判读结果, 显示方式包括文本显示、曲线显示, 同时具备超差报警功能。

数据库配置及存储模块主要用于配置信息录入和数据结果存储。配置信息录入主要包括参数信息、波道信息、判据信息、组播配置信息等; 结果存储主要存储起始电平及判读结果。

1.3 软件架构设计

自动判读软件设计上采用经典分层式三层架构, 包括数据访问层、业务逻辑层、表现层^[5], 如图 2 所示。数据访问层直接操作数据库, 对数据进行增添、删除、修改、更新、查找等, 包括测试前读取配置数据库中的参数信息、组播配置等, 以及测试后将测试结果存储至结果数据库; 业务逻辑层主要是对数据层的操作, 对数据业务进行逻辑处理, 包括组播接收数据、数据提取、自动判读、包络分析等功能; 表现层用于接受用户信息并将结果展示给用户, 主要指人机交互界面, 用户可在界面上选择测试流程进行一键测试。

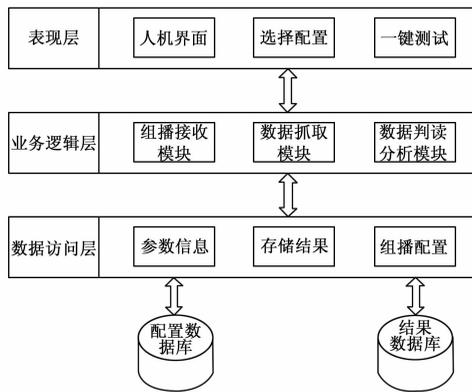


图 3 软件架构

2 主要软件模块设计

2.1 组播接收模块

网络数据传输方式共分为单播、组播、广播 3 种形式。单播是“一对一”的点点对点通讯模式; 组播是“一对一组”的通讯模式, 即加入了同一个组的主机均可以接收到此组内的所有数据; 广播是“一对所有”的通讯模式, 广播者可以向网络中所有主机发送信息。地面检测站以组播的形式将遥测全帧数据发出, 发送周期通常为 50 ms, 箭上遥测系统下传数据周期通常为 25 ms, 因此地面检测站每周发

送两包全帧数据。

自动判读软件设计了组播接收模块实现遥测全帧数据接收。通过读取相应的组播地址和端口号信息，打开组播建立连接，读取组播数据并根据帧结构计算全帧数据长度并截取数据，作为后续处理判读的数据源，具体的软件流程如图 4 所示。其中，组播地址、端口号、帧结构均在数据库中配置，可根据型号的不同进行分别处理。

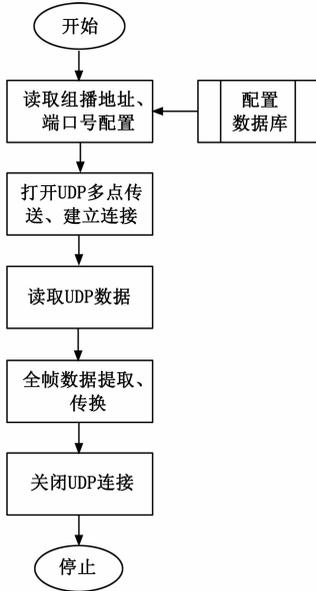


图 4 组播接收模块软件流程

2.2 波道处理模块

遥测参数按采样速率可分为缓变、速变参数，缓变参数通常占用一个波道，而速变参数通常占用多个波道，在波道编排形式上类似一个矩形方阵，通过主帧号、副帧号可计算得到参数的波道号。

波道处理模块主要目的是查找被测参数的所有波道，并提供给后续数据提取模块实现被测参数的全波道起始电平提取。设计时，主要是通过数据库索引来完成参数和波道的对应关系梳理，根据被测参数信息中的参数代号索引波道信息，根据波道信息的主帧、副帧循环计算所有波道值，并将波道数据汇成数组输出供后续模块使用。

2.3 数据提取模块

遥测参数种类很多，包括电量、振动、压力、过载、温度、指令等，但从数据格式来讲，一般分为两种，一种是波道型参数，即参数值需要一个完整波道（8 位二进制）来表示，可统称为模拟量参数；一种是占位型参数，即参数值仅需要一个波道中的一位（1 位二进制）来表示，可统称为指令参数。对于模拟量参数仅需波道值即可在全帧中提取数据，对于指令参数需要波道和占位两个信息提取数据。因此设计的关键在于不同参数类型的不同处理方式。

自动判读软件中，组播接收模块输出遥测全帧数组，波道处理模块输出波道数组，而数据提取模块以遥测全帧数据数组为数据源，根据波道数组和参数类型分类计算参

数波道值，并在全帧数据数组中根据波道值提取被测参数的所有起始电平，具体处理流程见图 5。

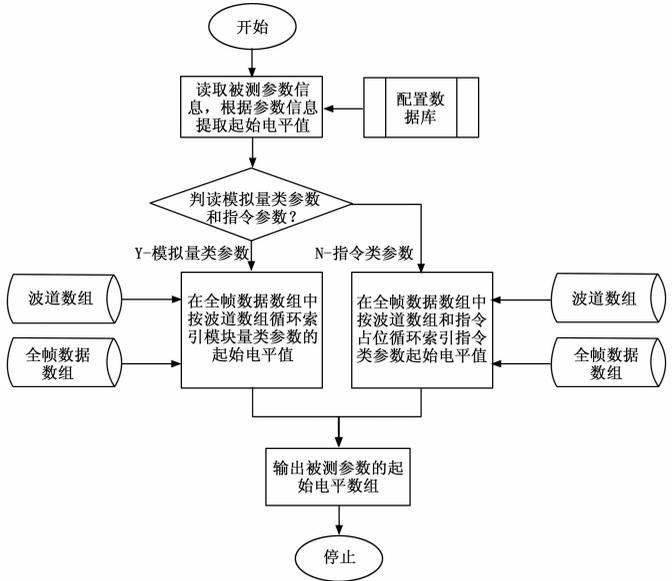


图 5 数据提取模块软件流程

2.4 数据判读及包络分析模块

在获取被测参数全波道的起始电平数组后，需要数据判读及包络分析模块对起始电平进行自动判读，并给出判读结果。自动判读条件主要分为两部分：一部分是给定的参数范围，由遥测系统技术文件规定，统一配置到数据库中供读取使用，也可在线更改，判读结果输出为合格/不合格；另一部分是参数包络范围，由历次测试统计得到，可在线更新包络，判读结果输出为包络/不包络。

在数据比对时，首先计算所获取的某参数所有起始点平值的最大值和最小值；然后，将最大、最小值分别与参数范围的上限、下限进行比较，若最大值大于上限或最小值小于下限，则判读数据超差输出“不合格”判读结果，否则判读合格进行后续包络比较。在包络比较时，同样将最大、最小值分别与包络范围的上限、下限进行比较，如果最大值大于上限或最小值小于下限，则判读超包络由人工确认是否正常；最后，根据参数范围和包络范围的两类判读情况输出综合判读结果，主要有“不合格”、“合格/包络”、“合格/不包络”3 种情况。具体的软件处理流程如图 6 所示。

2.5 数据显示及报警模块

数据显示及报警模块主要是给用户显示遥测参数信息、起始电平和判读结果，并对超差数据进行报警。同时，可单独选择任一参数进行实时曲线显示，直观显示参数变化情况。

设计时，主要显示四类信息：1) 读取配置数据库，显示被测参数信息，包括参数代号、参数范围、包络范围等；2) 根据数据提取模块输出的被测参数起始电平数组，显示被测参数起始电平值，在显示时对于单波道参数直接显示

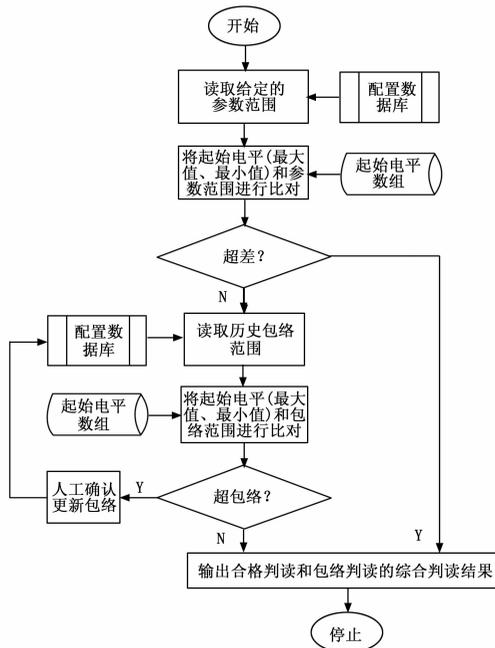


图 6 数据判读及包络分析模块软件流程

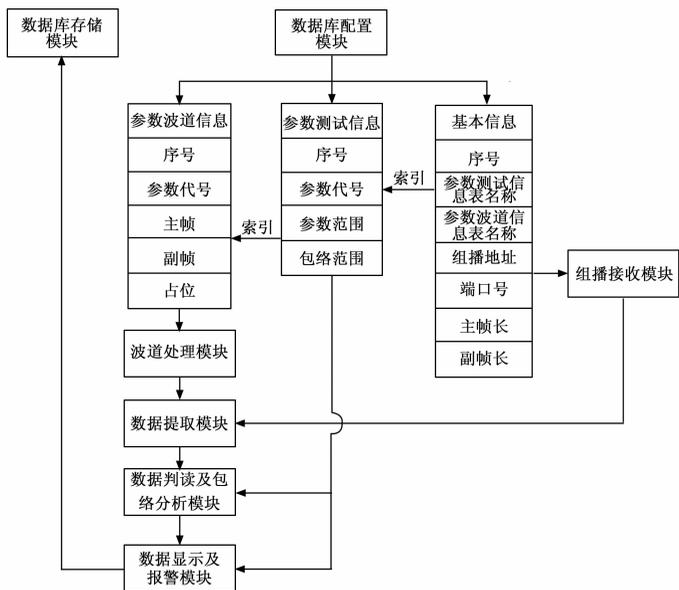


图 7 数据库配置及存储模块处理流程

波道值即可，对于多波道参数显示所有波道值的范围，即“最小值~最大值”；3) 根据数据判读及包络分析模块输出的判读结果，显示“不合格”或“合格/包络”或“合格/不包络”，且在不合格时需电量报警灯；4) 根据用户单选的某一个参数，循环接收遥测数据，实时显示参数曲线。

2.6 数据库配置及存储模块

数据库配置模块主要包含遥测参数波道信息、遥测参数测试信息、基本信息，其中遥测参数波道信息主要包括遥测参数代号、波道（主帧、副帧、占位）；遥测参数测试信息包括被测参数的代号、参数范围、包络范围；基本信息包括测试信息与波道信息的链接关系、组播配置（地址、端口号）、帧格式（主帧长、副帧长）。数据库存储模块主要存储遥测参数起始电平测试结果。

遥测参数波道信息主要供波道处理模块读取调用；参数测试信息主要供数据判读及包络分析模块、数据显示及报警模块读取调用；基本信息主要供数据提取模块调用。具体的调用及处理流程见图 7 所示。

3 软件实现

遥测参数起始电平自动判读软件基于 LabVIEW 环境和 ACCESS 数据库开发而成。LabVIEW 是一种用图标代表文本创建应用程序的图形化编程语言。传统文本编程语言是根据语句和指令的先后顺序决定程序执行顺序，而 LabVIEW 则采用的数据流编程方式，程序框图中节点之间的数据流向决定了执行顺序。ACCESS 数据库是由微软发布的关系数据库管理系统，它具备强大的数据处理、统计分析能力，利用 ACCESS 的查询功能，可以方便地进行各类汇总、平均等统计，并可灵活设置统计的条件。LabVIEW 中带有 LabSQL 工具包，基于配置 ODBC 数据源的方法访

问数据库，实现配置读取和结果写入^[6]。

软件设计时，主要是结合条件、顺序、循环 3 种结构形式。条件结构主要用于实现不同功能模块的控制和切换，包括数据读取、测试、导出、画图，根据功能设置不同的状态量，“状态量=1”时进入相应功能模块，执行结束后恢复为“状态量=0”进入等待下一次功能切换；顺序结构主要用于控制各功能模块按照流程图顺序执行，采用层叠式顺序结构，层与层之间进行数据传递，确保顺序不混乱、流程不错乱；循环结构主要是针对多维度信息进行循环分解和测试，采用 While 和 For 循环设置循环执行条件来控制程序的反复和启停。

遥测参数起始电平自动判读软件人机交互界面如图 8 所示。进入软件后，选取测试流程，读取测试信息，一键自动测试实现起始电平读取、判读、显示，测试完成后可通过导出结果来实现测试结果文件的存储。在用户选取任一参数后，还可进行实时曲线绘制，用于观察参数变化情况，动态判断参数正常与否。

4 实验结果及分析

根据不同型号综合试验中应用结果来看，遥测参数起始电平自动判读软件实现了一次配置、一键测试、全波道覆盖、全流程推广的自动判读模式，规避了传统人工判读模式带来的误判、漏判问题，在覆盖性、效率性、通用性方面优势明显。

4.1 覆盖性

遥测参数起始电平自动判读软件通过配置参数的全波道信息，实现各参数所有波道值的采集和判读，规避了传统方法无法辨识的多波道参数采集异常问题。同时，还增加了实时曲线绘制和包络分析功能，进一步判断参数的动态变化并细化判据，以便及时发现隐患。因此，软件在测

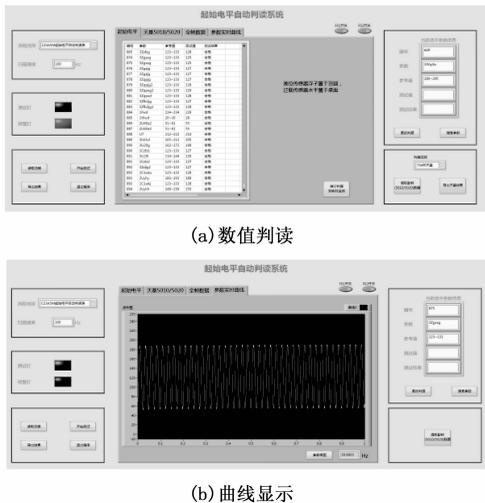


图 8 自动判读软件界面

试覆盖性和精细化程度方面效果明显。

4.2 效率性

以某型号测量系统为例，单次综合试验测试过程中，加电测试约 20 天，每天至少判读 2 次，每次需判读近 900 个参数，传统人工打印判读模式每次需花费至少 15 min。采用起始电平自动判读软件后，单次判读时间缩减约为 1 min，效率提升 15 倍，大幅度减少了综合试验判读时间。

4.3 通用性

软件在推广使用过程中，根据不同型号的特点，无需更改代码，且在普通计算机上即可运行，无需额为硬件支

撑。代码移植后，仅需在配置数据库中进行相应的更改（参数信息、组播信息、波道信息等），即可实现遥测参数起始电平自动判读软件的跨型号应用。

5 结束语

本文基于 LabVIEW 和 ACCESS 开发了运载火箭遥测参数起始电平自动判读软件，该软件具有通用的软件处理模块，通过不同数据库配置来实现多型号推广使用。经过在多个型号运载火箭电气系统综合试验中的应用，该平台很好地完成了综合试验需求，并且较传统的测试模式，在测试效率、测试覆盖性、精细化程度、通用性方面有了较大的突破。

参考文献：

- [1] 林 涓, 贺峥光. 载人火箭的遥测系统 [J]. 导弹与航天运载技术, 2006 (4): 5-10.
- [2] 郭 珈, 金 山. 测量数据处理系统的设计与应用 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (9): 250-252.
- [3] 朱良平, 陶桓美, 李 靖. 运载火箭遥测参数实时自动判读研究 [J]. 装备指挥技术学院学报, 2008, 19 (6): 67-68.
- [4] 贾旭光. 遥测系统自动测试方法的研究 [D]. 北京: 北京工业大学, 2014.
- [5] 尹禄高, 陈 策, 李 帆, 等. 基于安全私有云的虚拟化综合测试平台设计及应用 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (4): 15-16.
- [6] 黄 皓, 方 媛, 尹禄高. 基于数据库的飞行器通用测试平台设计 [J]. 自动化与仪表, 2015 (6): 61-62.
- [7] 黄春耀, 王 超, 马亮静. 六旋翼机器人运动控制与跟踪控制研究 [J]. 机械设计与制造, 2020, 352 (6): 264-267.
- [8] 胡浩伟, 赵庆展, 田文忠, 等. 一种 ITAE 六旋翼无人机双闭环串联-前馈 PID 姿态控制算法 [J]. 现代电子技术, 2019, 42 (10): 105-109.
- [9] 光 明, 鄂爱东, 钱凤阳, 等. 基于三维激光扫描技术的输电线路无人机巡检方法分析 [J]. 内蒙古电力技术, 2019, 37 (1): 21-24.
- [10] 陈志旺, 夏 顺, 李建雄, 等. 基于定向 A* 算法的多无人机同时集结分步策略 [J]. 控制与决策, 2019, 34 (6): 51-59.
- [11] 王义平, 王佳辉, 薛雅丽. 基于流水线高斯粒子滤波的无人机姿态估计算法及 FPGA 实现 [J]. 电光与控制, 2019, 26 (2): 66-70.
- [12] 郭颖萌. 基于实时控制分配策略的航天器姿态跟踪 [J]. 计算技术与自动化, 2018, 37 (2): 11-16.
- [13] 晁 鹤, 郑恩让. 基于 STM32 的无人船控制系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (10): 129-133.
- [14] 冯军红, 徐开俊, 林 娜. 民用无人机姿态稳定与航迹跟踪控制策略研究 [J]. 西北工业大学学报, 2018, 36 (2): 382-387.
- [15] 陈至坤, 周子栋, 纪 楠, 等. 基于 IDA-PBC 的四旋翼飞行器轨迹跟踪控制 [J]. 电光与控制, 2020, 27 (5): 36-41.

（上接第 148 页）
对于目标状态估计算法，在跟踪目标运动速度变化不大的情况下，其状态估计结果比较稳定、准确，但在速度变化时目标出现次数较多，具有明显的滞后性。将来，可以考虑使用多种模型对跟踪目标的状态转移过程联合描述。

参考文献：

- [1] 张志利, 王 超, 龙 勇, 等相关滤波器无标识 AR 的目标跟踪仿真 [J]. 系统仿真学报, 2018, 30 (11): 439-445.
- [2] 何 冉, 陈自力, 刘建军, 等. 特征融合与尺度自适应的核相关滤波目标跟踪 [J]. 计算机工程与设计, 2019, 40 (6): 1706-1712.
- [3] 茅正冲, 陈海东. 基于核相关滤波的长期目标跟踪算法 [J]. 激光与光电子学进展, 2019, 56 (1): 94-101.
- [4] 杨 坤, 常 赫. 基于核相关滤波和多特征融合的飞行员手势跟踪 [J]. 科学技术与工程, 2018, 18 (19): 301-305.
- [5] 马振宇, 祝小平, 周 洲. 一种方向舵-螺旋桨联用的全翼式太阳能无人机横航向控制方法 [J]. 航空学报, 2018, 39 (3): 210-220.
- [6] 张 杨, 吴文海, 胡云安, 等. 舰载无人机着舰轨迹跟踪鲁棒控制器设计 [J]. 控制理论与应用, 2018, 35 (4): 557-565.