

基于边缘计算的卫星地面站天线群因子自适应模糊PID控制系统

单海滨, 石艳军, 刘子菁, 李源鸿, 赵文化, 何沐全, 李楚洲

(广州气象卫星地面站, 广东 广州 510640)

摘要: 卫星地面接收站的天线跟踪控制系统一般采用PID控制。针对该类系统由于受到多种不确定性因素影响, 难以获得最优的控制参数, 造成PID控制的效果不够理想的问题, 设计基于边缘计算的自适应模糊PID天线跟踪控制系统, 通过模糊控制算法及时调整PID控制器的参数, 并在边缘计算服务器中实现对模糊控制输入和输出的论域的优化计算。模拟运行结果表明, 基于边缘计算的自适应模糊PID天线跟踪控制系统可以达到良好的控制效果。

关键词: 边缘计算; 天线跟踪控制; 模糊自整定PID

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.2023012

Adaptive Fuzzy PID Control System for Satellite Earth Station Antenna Group Factor Based on Edge Calculation

SHAN Haibin, SHI Yanjun, LIU Zijong, LI Yuanhong, ZHAO Wenhua, HE Muquan, LI Chuzhou

Guangzhou Satellite Meteorological Ground Station, Guangzhou 510640, China

Abstract: The antenna tracking control system of satellite ground receiving station generally adopts PID control. Due to the influence of various uncertain factors, it is difficult to obtain the optimal control parameters for this kind of system, resulting in the PID control effect is not ideal. An adaptive fuzzy PID antenna tracking control system based on edge computing was designed. The parameters of PID controller were adjusted in time by fuzzy control algorithm, and the optimal calculation of fuzzy control input and output domain was realized in edge computing server. The simulation results showed that the adaptive fuzzy PID antenna tracking control system based on edge calculation could achieve good control effect.

Keywords: edge computing, antenna tracking control, fuzzy self-tuning PID

0 引言

卫星信号接收站的天线跟踪控制系统一般采用比例积分微分(PID)控制, PID控制的优点是控制参数简单且固定不变, 方便执行。但对于一个拥有多套接收天线的综合性卫星地面接收站, 由于天线的运动受到多种不确定性因素影响, 并且每套设备都有其差异性, 当设备环境参数变动时, 仍用原来的PID参数进行控制就可能影响天线跟踪性能。模糊控制是一种智能控制方法, 通过模糊PID控制算法可及时调整PID控制器的参数, 是优化天线跟踪控制系统的有效方法^[1-7]。但模糊控制器自身缺乏学习能力, 其输入和输出的论域、隶属函数等在设计时就根据专家经验具体确定, 之后模糊控制器自身不能进行优化调整, 当设备环境变化时, 仍可能影响天线跟踪性能。可

见, 如果能够实现对模糊PID控制输入和输出的论域、隶属函数等的自调整能力, 就可进一步优化天线跟踪控制性能。由于每套接收天线自身控制器的算力有限, 难以实现自调整, 为此本文设计了基于边缘计算的卫星地面站天线群因子自适应模糊PID控制系统。边缘计算是一种新的计算模式, 可将具有计算、存储、应用等能力的智慧平台部署在靠近数据源头的网络侧, 从而得到更快的网络服务响应^[8-14], 正好适用于天线控制这种需要大量采集本地环境状态数据进行实时分析和决策的应用场景。

1 卫星地面接收站边缘计算服务框架

综合性及专业性卫星地面站的任务不仅是数据的接收, 还包括数据处理及服务等功能。例如我国的气象卫星接

收系统由一个卫星中心及多个分布在全国的地面站组成。图1为早期的卫星中心与地面站运行框架图，早期的系统任务单一，卫星中心负责运行调度控制、数据存储、数据处理、服务产品生产及分发，地面站根据卫星中心的运行调度指令接收卫星数据，并将卫星数据传送到卫星中心。

该系统在我国气象卫星的发展中发挥了重要作用，但随着发展的需要，目前地面站不仅需要接收我国及国外主要国家的气象卫星资料，还需要具备利用所接收的资料快速为所在区域提供服务的能力，早期的运行框架已经不能满足现实需求。由于接收任务及种类的增加，卫星地面站的设备越来越多元化，接收天线也不断增多，在接收前

端增加一个天线群边缘计算服务器可以实现智能化分配接收资源，并能根据设备环境参数的差异优化运行质量。图2为增加天线群边缘计算服务器的卫星中心与地面站运行框架图，边缘计算可将具有计算、存储、应用等能力的智慧平台部署在靠近数据源头的网络侧，从而得到更快的网络服务响应, 满足高实时性的业务需求。

2 基于边缘计算的天线群因子自适应模糊PID控制

2.1 模糊PID天线控制器设计

传统卫星地面站的天线跟踪控制系统一般采用PID

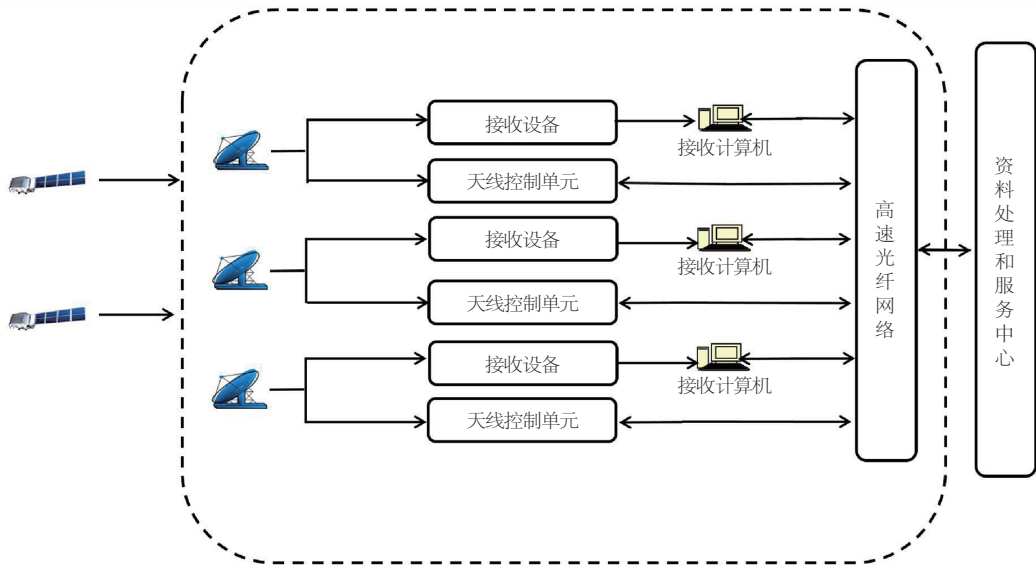


图1 早期的卫星中心与地面站运行框架图

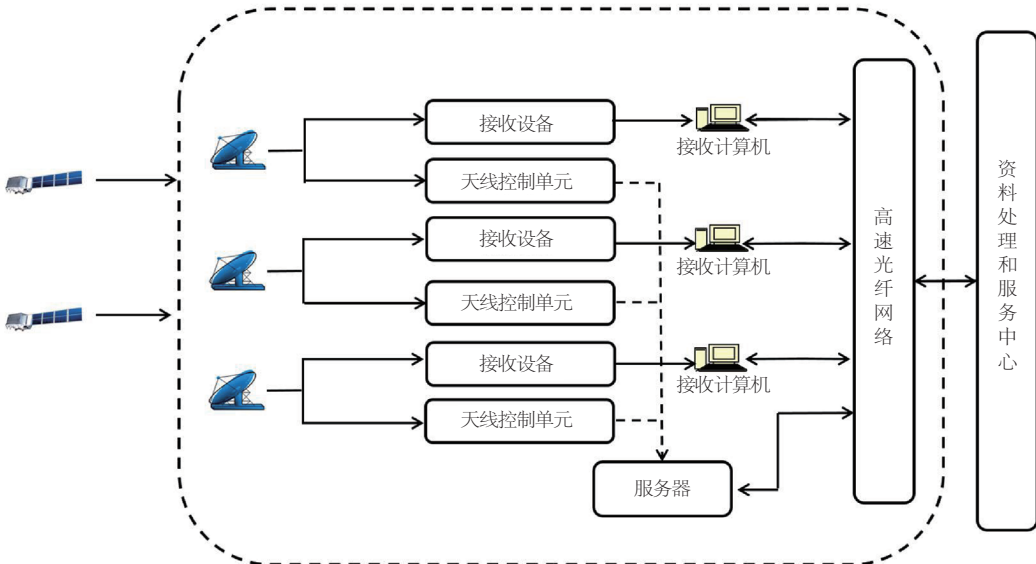


图2 增加天线群边缘计算服务器的卫星中心与地面站运行框架图

控制,控制器从前端传感器采集到天线XY轴角度,并通过与卫星轨迹计算的角度比较,控制伺服电机驱动天线跟踪卫星轨迹。其原理是根据天线实际角度与通过卫星轨迹计算的角度差值,经过比例、积分、微分3个环节计算得到控制量,进而输出到步进电机驱动天线运动。式(1)是增量式PID控制的数学表达式

$$u(k)=u(k-1)+K_p[e(k)-e(k-1)]+K_i e(k)+K_d[e(k)-2e(k-1)+e(k-2)] \quad (1)$$

式中, K_p 为比例系数, K_i 为积分系数, K_d 为微分系数, $u(k)$ 为控制器的输出到步进电机的控制量。PID控制技术具有结构简单、易于实现等优点,但由于天线的运动受到多种不确定性因素影响,当设备环境参数变动时,仍用原来的PID参数进行控制就可能影响天线跟踪质量。模糊控制具有稳定性强、适应性较好的优点,通过模糊PID控制算法可及时调整PID控制器的参数,是优化天线跟踪控制系统的有效方法。图3是模糊PID天线控制器框图,根据天线预报角度偏差和偏差的变化率作为系统的输入,PID的调节参数 K_p , K_i , K_d 作为输出,当输入变化时,可以根据模糊推理的方法对PID 3个参数进行在线修正。

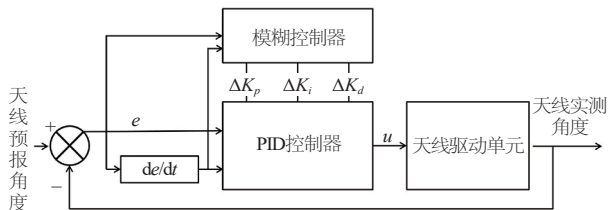


图3 模糊PID天线控制器框图

模糊控制器的设计过程包括确定论域、选取量化因子和比例因子、制定控制规则、选择模糊推理方法和清晰化方法等。图4为模糊PID天线控制器的控制流程。

2.2 基于边缘计算的因子自适应模糊PID控制

确定论域、选取量化因子和比例因子是模糊控制器设计的重要步骤,在设计过程中选取的量化因子和比例因子均为固定值,在实际的操作过程中主要根据经验获得较为合适的量化因子和比例因子。由于模糊PID天线控制器的输入和输出论域与实际被控的设备环境密切相关,采用固定的量化因子和比例因子,一旦设备环境变化,这个量化因子和比例因子也就有可能变得不再合适。所以实现量化因子和比例因子的自适应调整,进一步地提高模糊PID天线控制器的控制性能是非常必要的。由于每套接收天线自身控制器的算力有限,难以实现自调整能力,因此在接收前端增加一个天线群边缘计算服务器来实现智能化分配接收资源,并实时采集每套接收

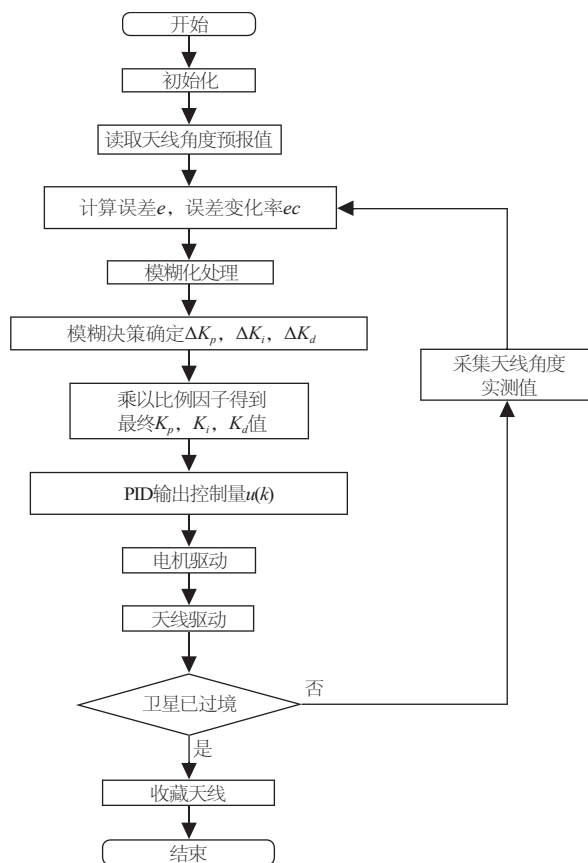


图4 模糊PID天线控制器的控制流程

表1 模拟跟踪实验中采集的部分天线角度及对应的预报角度

时间	方位引导角/°	方位角/°	俯仰引导角/°	俯仰角/°
00:30:58:051	344.92	344.66	3.05	3.28
00:30:58:098	344.91	344.66	3.05	3.28
00:30:58:145	344.91	344.66	3.05	3.28
00:30:58:192	344.9	344.66	3.05	3.28
00:30:58:239	344.9	344.66	3.06	3.28
00:30:58:285	344.9	344.66	3.06	3.28
00:30:58:332	344.89	344.66	3.06	3.28
00:30:58:379	344.89	344.66	3.06	3.28
00:30:58:426	344.88	344.66	3.07	3.28
00:30:58:473	344.88	344.66	3.07	3.28
00:30:58:520	344.88	344.66	3.07	3.28
00:30:58:567	344.87	344.66	3.07	3.28
00:30:58:614	344.87	344.66	3.07	3.28
00:30:58:660	344.87	344.66	3.08	3.28
00:30:58:707	344.86	344.66	3.08	3.28
00:30:58:754	344.86	344.66	3.08	3.28
00:30:58:801	344.85	344.66	3.08	3.28
00:30:58:848	344.85	344.65	3.09	3.28
00:30:58:895	344.85	344.65	3.09	3.28

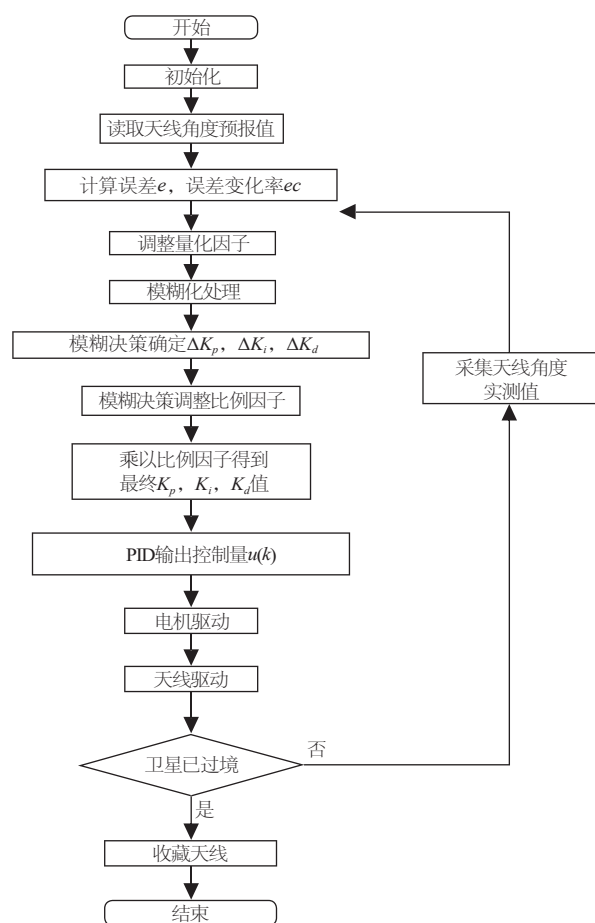


图5 因子自适应模糊PID天线控制器的控制流程

设备的运行数据, 根据设备环境参数调整每套设备的量化因子和比例因子。图5为因子自适应模糊PID天线控制器的控制流程。

3 模拟跟踪实验

在系统调试阶段, 为了不影响业务运行, 可通过修改实际预报的卫星轨道的起始时间, 生成一个虚拟的卫星轨道。通过控制天线对虚拟卫星轨道的跟踪, 可分析基于边缘计算的因子自适应模糊PID控制系统的控制效果。表1为模拟跟踪实验中采集的部分天线角度及对应的预报角度。

多次的模拟跟踪实验表明, 基于边缘计算的因子自适应模糊PID控制系统基本上达到了预期的效果, 通过对相应的时间角度和预报角度进行对比, 可以认为基于边缘计算的因子自适应模糊PID控制系统是一种优良且可靠的控制方法。

参考文献：

[1] 陈亮, 洪震. 电液伺服系统模糊PID控制器设计[J]. 电子测试,

2021(11): 51-52.

CHEN L, HONG Z. The fuzzy PID controller design of electro-hydraulic servo system[J]. Electronic Test, 2021(11): 51-52.

[2] 姜文雍, 黄增阳, 毛方, 等. 基于模糊PID技术的排气压力精确控制仿真研究[J]. 农机使用与维修, 2021(7): 19-22.

JIANG W Y, HUANG Z Y, MAO F, et al. Simulation study on precise control of exhaust pressure based on fuzzy PID technology[J]. Agricultural Machinery Using & Maintenance, 2021(7): 19-22.

[3] 孙建康, 王帅, 曹斯萌, 等. 基于模糊PID控制的智能循迹小车设计[J]. 现代制造技术与装备, 2021, 57(12): 202-205.

SUN J K, WANG S, CAO S M, et al. Design of intelligent tracking vehicle based on fuzzy PID control[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2021, 57(12): 202-205.

[4] 曹跃进, 杨杨. 基于模糊PID控制器的多电机控制系统[J]. 工业仪表与自动化装置, 2012(5): 74-76.

CAO Y J, YANG Y. The control system of a multi-motor based on a fuzzy PID controller[J]. Industrial Instrumentation & Automation, 2012(5): 74-76.

[5] 徐少杰. 基于模糊PID算法的带式输送机控制研究[J]. 科技创新与应用, 2017(4): 60.

XU S J. Research on control of belt conveyor based on fuzzy PID algorithm[J]. Technology Innovation and Application, 2017(4): 60.

[6] 申鹏, 王麒麟, 褚昊霖, 等. 基于模糊PID算法吸附机器人转向控制[J]. 软件, 2020, 41(4): 207-210.

SHEN P, WANG Q X, CHU H L, et al. Adsorptive robot steering control based on algorithm of fuzzy PID[J]. Software, 2020, 41(4): 207-210.

[7] 王小东, 周春桂, 王志军, 等. 基于自适应模糊PID的导弹控制系统[J]. 探测与控制学报, 2021, 43(6): 50-54, 61.

WANG X D, ZHOU C G, WANG Z J, et al. Missile control system based on adaptive fuzzy PID[J]. Journal of Detection & Control, 2021, 43(6): 50-54, 61.

[8] 白昱阳, 黄彦浩, 陈思远, 等. 云边智能: 电力系统运行控制的边缘计算方法及其应用现状与展望[J]. 自动化学报, 2020, 46(3): 397-410.

BAI Y Y, HUANG Y H, CHEN S Y, et al. Cloud-edge intelligence: status quo and future prospective of edge computing approaches and applications in power system operation and control[J]. Acta Automatica Sinica, 2020, 46(3): 397-410.

[9] 石锋, 梁尚斌, 蒋勇, 等. 油田物联网系统边缘计算研究与实践[J]. 计算机工程与应用, 2020, 56(16): 273-278.

SHI F, LIANG S B, JIANG Y, et al. Research and practice on edge computing of oilfield Internet of Things system[J]. Computer Engineering and Applications, 2020, 56(16): 273-278.

[10] 裴庆祺. 以万物互联为核心的边缘计算时代正在开启[J]. 人民

论坛·学术前沿, 2020(9): 26-32.

PEI Q Q. The era of edge computing with a focus on the Internet of everything[J]. Frontiers, 2020(9): 26-32.

- [11] 李子姝, 谢人超, 孙礼, 等. 移动边缘计算综述[J]. 电信科学, 2018, 34(1): 87-101.

LI Z S, XIE R C, SUN L, et al. A survey of mobile edge computing[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(1): 87-101.

- [12] 张馨元, 刘江, 张然, 等. 卫星协同的天地一体化边缘计算网络架构[J]. 无线电通信技术, 2022, 48(3): 394-400.

ZHANG X Y, LIU J, ZHANG R, et al. Architecture of cooperative satellite-terrestrial integrated edge computing networks[J]. Radio Communications Technology, 2022, 48(3): 394-400.

- [13] 陶滢, 刘伟, 高梓贺, 等. 天地一体化信息网络中星载边缘计算应用与挑战[J]. 无线电通信技术, 2022, 48(5): 763-772.

TAO Y, LIU W, GAO Z H, et al. Application and technical challenges of onboard edge computing in space-terrestrial integrated information network[J]. Radio Communications Technology, 2022, 48(5): 763-772.

- [14] 方海, 赵扬, 高媛, 等. 考虑任务依赖的卫星边缘计算资源分配与卸载决策算法[J]. 计算机工程与科学, 2022, 44(11): 1951-1958.

FANG H, ZHAO Y, GAO Y, et al. A satellite edge computing resource allocation and offloading algorithm with task dependence[J]. Computer Engineering & Science, 2022, 44(11): 1951-1958.

[作者简介]



单海滨 (1964-), 男, 本科, 广州气象卫星地面站正研级高级工程师, 主要研究方向为卫星遥感。



石艳军 (1983-), 男, 硕士, 广州气象卫星地面站高级工程师, 主要研究方向为卫星遥感。



刘子菁 (1991-), 男, 硕士, 广州气象卫星地面站工程师, 主要研究方向为卫星遥感。



李源鸿 (1968-), 男, 本科, 广州气象卫星地面站高级工程师, 站长, 主要研究方向为卫星遥感。



赵文化 (1966-), 男, 本科, 广州气象卫星地面站高级工程师, 主要研究方向为卫星遥感。



何沐全 (1991-), 男, 硕士, 广州气象卫星地面站工程师, 主要研究方向为卫星遥感。



李楚洲 (1980-), 男, 硕士, 广州气象卫星地面站工程师, 主要研究方向为卫星遥感。