

基于无人机航拍技术的地面施工设备质量 远程控制系统设计

张岩

(山东大学 工程训练中心, 济南 250001)

摘要: 传统控制系统在控制地面施工设备质量时, 很容易受到外界因素影响, 出现误差; 为了解决这一问题, 基于无人机航拍技术设计了一种新的地面施工设备质量远程控制系统, 系统硬件结构分为接入层、管理层和应用层, 控制主机选用 HT500 主机, 选用的传感器为光纤传感器, 以 DSP 信号处理器处理信息; 软件共分为地面施工设备信息采集、地面施工设备信息处理、远程控制工作实现和控制结果显示四步; 为验证系统效果, 与传统系统进行对比, 结果表明, 设计的控制系统在控制过程中产生的误差低于传统法, 均值在 0.2 左右, 具备很强的控制能力, 值得推广使用。

关键词: 无人机; 航拍技术; 地面施工; 设备质量; 远程控制系统

Design of Remote Control System for Ground Construction Equipment Quality Based on UAV Aerial Photography Technology

Zhang Yan

(Engineering Training Center, Shandong University, Jinan 250001, China)

Abstract: When traditional control system controls the quality of ground construction equipment, it is easy to be affected by the outside world, resulting in errors. In order to solve this problem, a new remote control system of ground construction equipment quality is designed based on UAV aerial photography technology. The hardware structure of the system is divided into access layer, management layer and application layer. The control host adopts HT500 host, the sensor is optic fiber sensor, and the signal processor of DSP is used to process information. The software is divided into four steps: information acquisition of ground construction equipment, information processing of ground construction equipment, realization of remote control and display of control results. In order to verify the system effect, compared with the traditional system, the results show that the designed control system produces less error in the control process than the traditional method, the average value is about 0.2, with strong control ability, it is worth promoting.

Keywords: UAV; aerial photography technology; ground construction; equipment quality; remote control system

0 引言

无人机航拍技术具有很强的智能性, 自动化水平高, 拍摄到的实际更改信息能够同步更新到中心系统中, 为企业提供有力的资料, 在环境保护领域、土地资源管理领域以及资料分析领域都有着广泛的应用。由于近年来科学家在无人机航拍技术中投入了大量的人力、物力和财力, 所以无人机航拍技术进步更加显著, 将无人机航拍技术应用到勘查工作中, 可以大大缩小勘察时花费的时间, 加快信息反馈速度, 即使在复杂的工作环境下, 无人机航拍技术也可以快速灵活地适应。无人机具有体积小, 结构简单, 工作时不会受到自然环境影响等优点, 因此工作人员可以随时利用无人机控制各类设备^[1]。

地面施工设备是保证地面施工工作正常运行的重要物质基础, 其质量好坏直接影响施工效率, 控制地面施工设

备质量一直是地面施工的重要任务之一^[1]。目前的地面施工设备质量控制方法多是采用日常检修的方法, 虽然设计了质量控制系统, 但是过于依赖人工操控, 在外界因素影响下, 控制工作很难正常运行, 得到的质量信息准确度很低, 且各类质量参数描述不够详细。随着科技的进步, 地面施工设备越来越复杂, 对设备进行质量控制越来越困难, 严重影响施工工作的正常运行^[3]。

综上所述, 本文设计了一种新的地面施工设备质量远程控制系统, 利用无人机航拍技术对系统的硬件和软件进行设计, 系统通过接入层、管理层和应用层完成硬件结构, 利用实验对系统的有效性进行验证^[4]。所设计的系统能够有效控制地面施工设备质量, 管理施工设备信息, 优化生产过程, 提高地面施工工作效率。本文研究的控制系统对于地面施工工作的正常开展有一定的促进意义。

1 地面施工设备质量远程控制系统硬件设计

通过现有网络连接无人机, 在确保施工工作正常运行的情况下, 对质量控制结构进行优化^[5]。以传统控制系统为基础, 利用开放性接口设计地面施工设备质量远程控制

收稿日期: 2019-01-18; 修回日期: 2019-02-26。

作者简介: 张岩(1966-), 男, 山东济南人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事计算机工程方向的研究。

系统硬件结构：

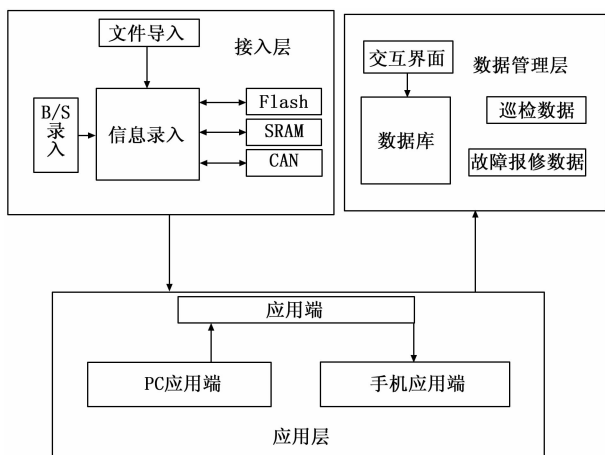


图 1 地面施工设备质量远程控制系统硬件结构

如图 1 所示，系统硬件具有三层结构，分别是接入层、管理层和应用层，通过这三层连接，使系统更加开放灵活，兼容性更高^[6]。接入层能够很好地接收到无人机航拍传来的信息，由于 B/S 结构的加入，即使系统终端环境不同，也可正常运行，避免客户端配置受限的问题。数据管理层会将数据库中的所有信息提取出来库中的所有信息提取出来，再接入到应用数据库，可实现数据的快速追踪和查找。应用端使用手持设备和 PC 端，通过内部网络上传采集的数据，从而配置出有效的控制方案，实现地面施工设备质量远程控制工作。通过本文设计的地面施工设备控制系统可以加强信息可视化和共享化^[7]。

系统硬件结构包括的硬件设备有：底座、固定支撑设备、移动支撑设备、水平测量仪、上升机构和下降机构。为了使系统运行更加平稳，精度更高，所有的系统硬件设备都应该采用伺服系统，在减速器中控制输出的动力，加快质量控制的速度^[8]。

1.1 控制主机设计

本文设计的施工设备质量控制系统要同时满足安全控制、自由度控制等条件。系统的控制主机为 HT500 主机，该主机内部设置了 2 路能够独立运动的支撑链，这 2 路支撑链在三维坐标下沿着不同的方向运行，第一路沿着 Y 轴方向运行，针对不同长度的地面施工设备质量进行控制，控制时不断调整支撑距离，提高控制效率，第二路沿着 Z 轴方向运行，主要负责与被控设备进行承接工作，确保被控制的设备在工作过程足够安全，与传感器不会产生冲击。为了加强控制主机运行的稳定性和安全性，系统利用 PLC 实现主机的控制工作^[9]。控制主机的工作原理如图 2 所示。

控制主机主要负责连接子系统和中心系统，确保提供的指令正常运行，将得到的各个信号信息发送给传感器。控制主机针对地面施工设备质量测量平台、PLC 控制系统和计算系统进行工作。

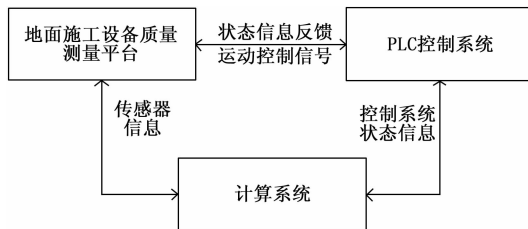


图 2 控制主机工作原理

1.2 传感器设计

传感器是控制系统的核心设备，本文选用的传感器为光纤传感器，通过分析送至调制器中的光源信号的光学性质，确定地面施工设备工作性质。主要分析内容有光强、波长、频率、相位和偏振态。光纤传感器十分灵敏、精确，对于环境的适应能力很强，具备很多传统传感器不具备的优势，能够检测到很多人类难以检测区域的信息。光纤传感器采用石英玻璃作为核心结构，光纤的中心为纤芯，外层和护套选用尼龙料，即使外界有强磁场干扰，光纤传感器也不会受到影响。传感器结构图如图 3 所示。

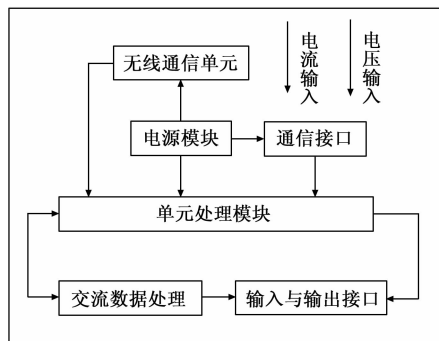


图 3 处理器结构

传感器能够利用多种物理量控制地面施工设备的各项物理参数。当传感器内部采用的光纤为 SM 和 PM 光纤时，利用磁致伸缩现象，可以很好地控制地面施工设备的电流和磁场；利用电致伸缩现象，可以控制设备周围电场和电压；通过 Sagnac 效应可以控制设备的角速度；根据光弹效应能够控制设备的振动、所受压力、加速度；使用干涉能够控制设备温度。当传感器内部光纤为 MM 光纤时，通过分析半导体透射率的变化情况、荧光辐射和黑体辐射，可以控制地面施工设备的温度；利用振动膜和液晶反射原理改变设备的振动情况、所受压力以及产生的位移；根据气体分子吸收原理，控制设备周围环境气体浓度。当传感器内部光纤为 SM 光纤时，利用法拉第效应，改变施工设备的电流和磁场；使用双折射变化，控制设备温度；通过泡克尔斯效应控制的设备电场和电压。本文设计的光纤传感器还具备很强的绝缘能力，防爆性能好，抗腐蚀能力强。

1.3 处理器设计

本文选用的处理器为 DSP 信号处理器，能够处理所有信号和波形，利用 AD 采样将反馈到的信息上传给 DSP，各个单元与主控板 CPU 的通信方式为光纤通信，在可编程

逻辑器中编码单元信息, 调控系统控制状态。处理器结构如图 4 所示。

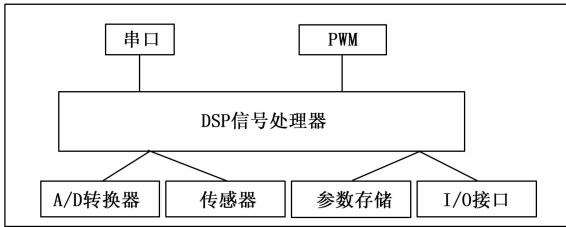


图 4 处理器结构

对于传感器反馈的信息以运算的方式处理, 处理器内部使用 M/T 模式, 大大提高处理速度。在完成处理工作后, 传感器会将得到的有效值上报给主控 CPU, 通过主控 CPU 进行一系列调整。为了强化处理效果, 本文利用磁场补偿原理在处理结构中加入了电流互感器, 对所有处理的电流信息进行实时监控。模拟电压信号在 AD 转换芯片中实现采样工作和转换工作, 本文设计的 AD 转换芯片能够同时上传三相数据。处理其内部的通信模式为 RS485 通讯模式, 能够确保上位机实时接收到各类参数值, 根据给定的控制要求实行命令。本文研究的处理器是一种微处理器, 其最大的特点为处理速度快, 相较于传统处理器, 本文研究的处理器运算速度提高了 2 倍以上, 满足实时控制地面施工设备的要求。通过加入现代化控制策略, 提高控制性能, 完善处理器各项功能。

2 地面施工设备质量远程控制系统软件设计

针对系统主要硬件结构进行设计后, 引用无人机航拍技术对系统的软件进行开发, 软件流程如图 5 所示。

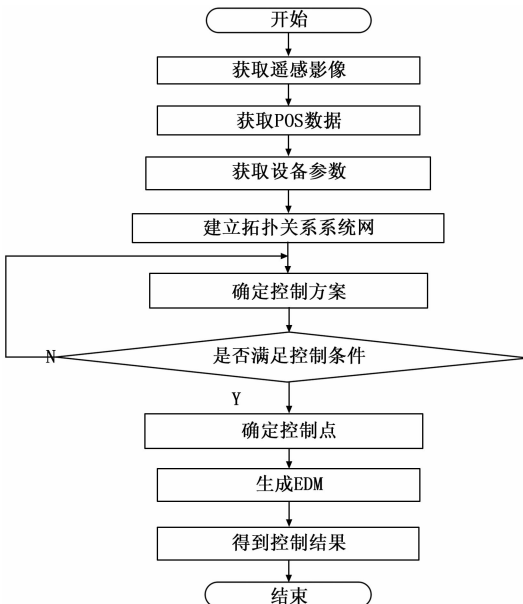


图 5 地面施工设备质量远程控制系统软件流程

第一步: 利用无人机航拍技术获取地面施工设备信息, 以航空摄影的方式拍摄图片, 并将得到的信息在遥感平台

上处理。由于地面设施所处环境复杂, 所以要合理布设拍摄点和测量点, 拍摄时必须全方位拍摄, 确保得到的信息真实性和准确性。通过无人机航拍技术获取的地面施工设备信息需要加密, 便于之后的处理工作。本文同时设计了无人机遥感平台、飞机控制系统、地面监控系统, 通过这三个系统联合工作, 获取施工设备质量信息, 这样的获取方式快速准确。定位系统加入了加速度计, 实现地面施工设备质量信息的定点采集。通过数字化监控的方式监控整个采集过程, 将所有的采集模式紧密地连接到一起, 包括模式选择、软件设置、相机设定、数据上传, 得到的采集信息可以随时随地上传, 使操作变得更加方便。

第二步: 地面施工设备质量信息处理。在无人机航拍技术下, 采集到的地面施工质量信息以遥感相片的方式储存, 所有的参数记录在文件中, 统一处理。利用空中三角将信息三维化, 形成立体模型, 利用核线影像提高处理效率。为了加强控制质量, 必须要找到被控设备的初始位置和旋转后的位置, 通过四点法则控制设备质量信息。针对不同长度和形状的设备采取的控制方法也不同, 选择的最优控制距离也不同, 平台内部的支撑距离应该是可以调节的。地面设施的控制端面并非地面, 而是被测对象的端面, 系统沿着水平运动端面处理信息, 使信息处理工作更加便于调整。航拍得到的大量信息都要按照制定的要求进行处理, 在经过航带评定、质量设定、照片预处理、信息更正等。

第三步: 地面施工设备质量信息远程控制。使用空中三角控制系统远程操控地面施工设备质量, 由于空中三角有着很好的控制位置, 所以在远程控制地面施工设备质量信息中发挥着关键性的作用。在科学融合航带列表后, 确定设备质量信息之间的关系, 通过定向的方式将影像之间的连接点连接到一起, 利用平差计算得到自动空间加密, 使用三维立体模型生成核线影像。三维立体模型对地图有着很强的推断能力, 所有的相关信息都可以在三维虚拟地形地物中以可视化的方式呈现出来。数据库会以图像和表格的方式展示所有的数据, 工作人员再根据得到的数据设定具体的控制方案。控制时, 会建立一个与被控制设备信息相符的规模网, 在网络中划分各种 GPS 坐标点, 并找出坐标点在三维坐标系中的位置, 从而进行具体的控制。

第四步: 控制结果显示。得到的信息不能直接显示在显示屏中, 控制图片影像在不正常的情况下, 会出现 CCD 畸变, 要根据设备的实际比例纠正影响比例, 畸变参数设置成 K, 非畸变参数设置成 P, 利用比例系数纠正信息。控制后的数据信息要利用正射影像的方式匹配, 确定重叠后的栅格数据 DEM 点, 找准切面, 显示控制结果。

3 验证实验

3.1 实验目的

为了检测本文设计的基于无人机航拍技术的地面施工设备质量远程控制系统实际效果, 与传统系统进行对比, 在串级姿态下对控制系统的控制效果进行了实验研究。

3.2 实验参数设置

设置实验参数如表 1 所示。

表 1 实验参数

项目	参数数值
工作电压	220V
工作电流	500A
传感器	光纤传感器
处理器	DSP 信号处理器
运行内存	12GB
升力系数	0.83
控制点	GPS 控制点
信息处理方式	遥感处理

3.3 实验过程

根据上述参数进行实验，选用传统系统和本文设定的控制系统对同一批地面施工设备质量进行控制，分析两种系统在控制过程中产生的误差，从而判定两种系统的工作效果。

3.4 实验结果与分析

沿 x 轴产生的控制误差对比结果如图 6 所示。

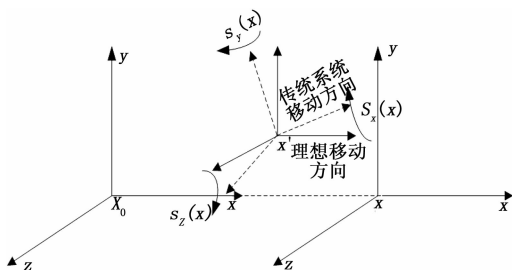


图 6 传统系统沿 x 轴产生的控制误差

观察图 6，在沿 x 轴进行控制时，系统移动方向会存有一定的误差，通过对控制过程产生的旋转结果进行分析，判断控制效果。分析结果可知，传统系统在对施工质量信息进行控制时，产生的误差很大，与理想的控制状态不符，使用传统控制系统控制质量信息时很容易出现定位误差，尤其在 5 个自由度方向下，传统系统产生的定位误差很大。造成这一现象的主要原因是理想系统的测量装置存在误差，在地面进行测量，很难确保测量精度，定位结果与实际结果相差很多，工作人员根据得到的控制结果进行控制时，很容易出现问题。

传统系统在零点定位上有着很大局限性，一旦零点定位不准确，水平调整也会不标准，一旦空间位置不平衡，系统在控制时就会出现不均匀和不稳定的结果。和远程控制相比，地面控制更容易受到环境影响，地面的温度、湿度、振动和气压等条件都会影响控制结果。

除此之外，传统系统过于依赖人工操作，如果控制人员知识不够充足，就会导致控制结果不准确。即使工作人员经验丰富，也会出现大意或疏忽。为了降低人工误差带来的损失，必须要多次重复执行控制工作，才能得到比较

好的控制结果，多次操作又导致工作成本大大提高。

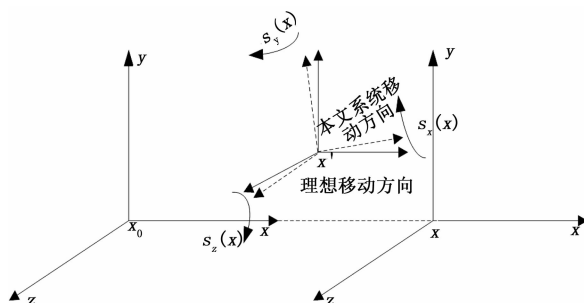


图 7 本文系统沿 x 轴产生的控制误差

本文研究的控制系统引入了无人机航拍技术，只需要由中心系统分析无人机航拍得到的影像即可，不需要过多的人工操作，绝大多数的操作都可以由机器设备直接执行，精准度高，控制能力强。由于不需要地面测量，整个控制过程不会受到外部环境影响，定位结果与实际结果比较吻合。本文系统强化了硬件设备和软件设备，在设施的使用中加以强化，优良的操控系统和硬件设施，有效加强了控制结果。将传统系统与本文系统的控制误差结果输入至 Origin 软件中呈现如下图像：

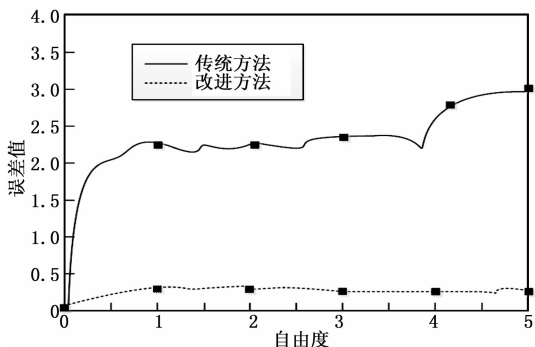


图 8 控制误差对比

由图 8 可知传统方法自由度为 1 时，误差值为 2.31，自由度为 2 时，误差值为 2.3 自由度为 3 时，误差值为 2.4，自由度为 4 时，误差值为 2.7，自由度为 5 时，误差值为 3。本文系统的自由度为 1 时，误差值为 0.27，自由为 2 时，误差值为 0.25 自由度为 3 时，误差值为 0.23，自由度为 4 时，误差值为 0.2 自由度为 5 时，误差值为 0.2。

综上所述，本文设计的地面施工设备质量远程控制系统具有很强的控制能力，在控制过程中，产生的误差率小，控制效果好，花费成本低，对于人力、物力和财力更小。相较于传统控制系统，本文研究的系统在控制过程展现出极大的优势，具有很广阔的发展前景。

4 结束语

无人机航拍技术能够利用无人机对地面上的施工设备进行多角度航空拍摄，从而获得较为精准地设备信息。本文将无人机航拍技术引入到地面施工设备质量远程控制系统的设计中，该系统能够取代传统的控制模式，在远距离

就可以实现地面施工设备质量的控制工作，消耗成本更低，灵活性强，同时更加安全，对于提高地面施工质量有着很强的促进意义。

虽然本文系统具备上述优点，但是在工作过程仍然会产生一定的误差，为进一步提高地面施工设备质量信息控制工作的效果，减少误差，未来需要在以下几方面进行深入研究：引入神经网络，提高控制精度；优化控制系统各项参数，扩大控制范围；增加驱动设备，实现全自动化控制；加强软件设备，增加审核系统，减小工作过程产生的误差率。

参考文献：

[1] 杨青, 赵锋, 李阳. 基于 C# 的无人机地面站软件设计 [J]. 电子质量, 2017, 22 (5): 48-51.
 [2] 李昊宸. 无人机航拍技术辅助施工管理的应用探讨 [J]. 陕西

建筑, 2017, 11 (6): 37-39.

[3] 韩杰, 卿粼波, 熊淑华, 等. 基于无人机航拍的车辆检测系统 [J]. 现代计算机, 2017, 14 (32): 58-64.
 [4] 刘占利. 无人机航拍技术在工程测量中的应用 [J]. 中国新技术新产品, 2017, 31 (9): 87-88.
 [5] 贾海光. 无人机航拍技术在地质工程测量测绘中的应用探析 [J]. 世界有色金属, 2017, 62 (12): 48-49.
 [6] 张佳. 基于 H.264 标准的无人机遥测图像传输系统设计 [J]. 自动化与仪器仪表, 2017 (6): 130-132.
 [7] 申增辉. 无人机航拍技术现状及发展趋势研究 [J]. 中外企业家, 2017, 2 (19): 188-188.
 [8] 过元华, 章国宝. 大型仪器设备远程视频监控系统的硬件设计 [J]. 电子设计工程, 2017, 19 (12): 187-189.
 [9] 孙晓波, 王荣浩, 张鹏举. 基于 Flash 的远程工业监控系统设计 [J]. 电子设计工程, 2018, 20 (9): 64-67.

（上接第 79 页）
 一致性。未来研究的重点主要是考虑每个智能体外部干扰不同的情况，同时对已有证明方法进行简化改进，从而减下系统保守性。

参考文献：

[1] Gao Y, Wang L. Sampled-data based consensus of continuous-time multi-agent systems with time-varying topology [J]. IEEE Trans on Automatic Control, 2011, 56 (5): 1226-1231.
 [2] 柴运, 熊涛. 基于二层邻居信息的多智能体系统编队控制 [J]. 计算机应用, 2017, 37 (8): 2264-2269.
 [3] Tang Z, Huang T, Shao J, et al. Leader-following consensus for multi-agent systems via sampled-data control [J]. IET Control Theory Applications, 2011, 5 (14): 1658-1665.
 [4] Wang C R, Wang X H, Ji H B. Leader-following consensus for a class of second-order nonlinear multi-agent systems [J]. Systems & Control Letters, 2016, 89: 61-65.
 [5] Lin P, Jia Y. Robust consensus analysis of a class of second-order multi-agent systems with uncertainty [J]. Control Theory & Applications iet, 2010, 4 (3): 487-498.
 [6] 曹科才, 刘春香, 高翔, 等. 不确定时变时滞多个体系统的鲁棒一致性控制 [J]. 信息与控制, 2012, 41 (5): 608-616.
 [7] 莫立坡, 周艳杰, 周洪波. 带 Leader 的不确定高阶多智能体系统的一致 [J]. 控制理论与应用, 2012, 29 (9): 1125-1131.
 [8] Zhou J P, Sang C Y, Li X, et al. H_∞ consensus for nonlinear stochastic multi-agent systems with time delay [J]. Applied Mathematics and Computation, 2018, 325: 41-58.
 [9] Yang H, Zhang Z, Zhang S. Consensus of second-order multi-agent systems with exogenous disturbances [J]. International Journal of Robust & Nonlinear Control, 2011, 21 (9): 945-956.
 [10] Zhang X, Liu X. Consensus of second-order multi-agent systems with disturbances generated by nonlinear exosystems

under switching topologies [J]. Journal of the Franklin Institute, 2014, 351 (1): 473-486.
 [11] Zhang X, Zhu Q, Liu X. Consensus of second order multi-agent systems with exogenous disturbance generated by unknown exosystems [J]. Entropy, 2016, 18 (12): 423-433.
 [12] Aetstein Z. Linear systems with delayed controls; a reduction [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 1982, 27 (4): 869-879.
 [13] Engelborghs K, Dambrine M, Roose. Limitations of a class of stabilization methods for delay systems [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2001, 46 (2): 336-339.
 [14] Zhou B, Lin Z, Duan G. Truncated predictor feedback for linear systems with long time-varying input delays [J]. Automatica, 2012, 48 (10): 2387-2399.
 [15] Ding Z T, Lin Z L. Truncated state prediction for control of Lipschitz nonlinear systems with input delay [A]. Proc. 53rd IEEE Conference Decision Control [C]. 2014: 1966-1971.
 [16] Wang C Y, Zuo Z, Lin Z L, et al. A truncated prediction approach to consensus control of Lipschitz nonlinear multi-agent systems with input delay [J]. IEEE Transactions on Control of Network Systems, 2017, 4 (4): 716-724.
 [17] Seybotha G S, Dimarogonas D V, Johansson K H. Event-based broadcasting for multi-agent average consensus [J]. Automatica, 2013, 49 (1): 245-252.
 [18] Song Q, Liu J, Cao J, et al. M-Matrix strategies for pinning-controlled leader-following consensus in multi-agent systems with nonlinear dynamics [J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2013, 43 (6): 1688-1697.
 [19] Isidori A. Nonlinear control systems [M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1995.
 [20] 郭胜辉, 朱芳来, 朱树先. 离散 Lipschitz 非线性系统状态和未知输入估计 [J]. 控制理论与应用, 2018, 35 (3): 375-381.