文章编号:1671-4598(2016)06-0080-04 DOI:10.16526/j.cnki.11—4762/tp.2016.06.022 中图分类号:TM923 文献标识码:A

基于多元通讯集中控制器的LED植物促生长智能照明控制系统

许 堃[1], 杨泽桢[1], 余建波[2]
(1. 上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200072; 2. 同济大学 机械与能源工程学院, 上海 200092)

摘要: LED可以高效地释放特定波长的光线, 促进植物光合作用; 然而市场上较多采用的植物生长灯缺乏系统化的控制, 订制成本高, 可靠性和灵活性低; 为了解决这些问题, 开发了一套LED植物促生长智能照明控制系统; 该系统采用集中分布式的架构, 拓展了可控制的地域范围和优化了系统的响应能力; 特别是系统采用了多元通讯模式, 巧妙地融合了多种数据传输方式, 其中包括多种远程通讯和局域网络通讯, 极大地提高了控制系统的灵活性和可靠性; 在该模式下, 控制设备中嵌入了可配置的优先级列表, 集中控制器实时检测并动态地选择高优先级且连接状态良好的通讯方式; 在局域无线组网通讯中, 提出了一套具有自愈和自维护功能的系统组网策略, 极大地提高了下行网络的稳定程度; 最后搭建了实验平台, 测试了相关功能, 试验结果良好; 该控制系统具有高可靠性和高灵活性的特点, 适应多种农业现场状况, 拥有良好的市场潜力。

关键词: 多元通讯; 植物促生长; LED智能控制; 远程控制; 局域无线自组网

Intelligent LED Control System for Promoting Plant Growth Based on Multi—Communication Centralized Controller

Xu Kun[1], Yang Zezheng[1], Yu Jianbo[2]
(1. School of Mechatronics Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China;
2. School of Mechanical and Energy Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: LED can effectively release the light of a specific wavelength to promote the plant photosynthesis. However, the plant growth lights mostly used on the market are lack of systematic control, which generally have the disadvantage of high cost, low reliability and low flexibility. In order to solve these problems, a set of intelligent LED control system for promoting plant growth is developed. The system uses a centralized and distributed architecture, which can greatly expand the control range and optimize the system's response capability. In particular, the multi—communication mode used in system integrates a variety of data transmission mode, which includes various kinds of remote communications and local area network communications. In this way, it will greatly improve the flexibility and reliability of the control system. In the multi—communication mode, the control device is embedded with a configurable priority list and centralized controller completes the real—time detection to dynamically select the steady communication mode with high priority. In the local area wireless network communication, a set of network strategy with the function of self—maintenance and self—healing is proposed, which greatly improves the reliability of the wireless network. Finally, an actual test has been carried on and the result is good. The control system with the characteristics of high reliability and high flexibility can adapt to various kinds of agricultural field conditions . It will have good market potential.

Keywords: multi—communication; promote plant growth; LED intelligent control; remote control; local area wireless ad hoc network

0 引言

作为新兴的光源, LED照明应用在植物生长领域也有很大的优势。传统植物设施栽培中使用的光源一般是荧光灯、金属卤化物灯和白炽灯。

这些光源有很多不必要的波长, 但是LED可以实现植物生长所需要的非常窄的波段[1], 通常波长在400～700 nm(蓝色)以及610～720 nm(红色)的光线对于光合作用贡献最大[2], 因此可以大幅度提高能量利用效率; 另外LED是一种冷光源, 可以近距离放置而不烧伤植物。鉴于以上优点, LED植物生长灯的应用前景非常广阔。

采用LED取代传统的植物生长灯已经是市场发展的必然趋势, LED可以与智能系统完美结合, 实现从远程或者近端对光线的波长、强度和时间进行任意的控制[3]。然而市场上出现的植物LED生长灯订制成本高, 智能化水平低, 为了解决上述问题, 关于LED植物生长照明系统的研究成为热点。文献[4]综述了当前植物照明的研究进展, 并从当前的设备和技术论述了植物照明应用的现状, 探讨了植物照明的发展趋势。文献[5]从需求上阐述了智能LED促生长系统应当具有的功能、特点和关键技术, 包括发射频谱的中心波长范围, 光强和光质的调节功能和稳定的智能控制系统等。文献[6]设计了一种用于拟南芥生长补光的照明系统, 这种系统只能针对特别的植物, 每次生产都需要根据对象的不同而单独订制, 成本高,

收稿日期:2015-11-09; **修回日期**:2015-12-06。
基金项目:国家自然科学基金资助项目(51375290);上海市教育委员会科研创新项目(13YZ002)。
作者简介:许 堃(1989-),男,江苏连云港人,硕士研究生,主要从事灯光智能控制、设备远程控制等方向研究。
余建波(1978-),男,浙江宁波人,副教授,硕士研究生导师,主要从事设备智能预诊等方向的研究。

研发周期长。文献[7]基于 CPLD 提出了一种多参数可编程的全数字 LED 植物补光灯控制系统，该系统可以满足不同植物在不同生长阶段的光质需求，但是系统缺乏必要的信息反馈系统和网络通讯系统。文献[8]提出了一种新型智能 LED 植物组培光照系统，系统由 ZigBee 无线通讯、光照度传感器以及单片机系统组成，该系统中架设的无线网络通讯系统可有效地控制多点光源。但实际的农业现场状况非常复杂，而该系统缺乏必要的系统管理，紧依靠 Zigbee 无线通讯又容易遭到干扰，只能适用于有限场合。综上所述，缺乏系统化管理，只依靠某种单一的通讯方式，在可靠性上和灵活性上已经无法满足自动化农业的需求。

针对现有植物照明系统中存在的问题，设计了一种基于多元通讯集中控制器的 LED 植物促生长智能照明控制系统。该系统不但可以对每一个光源进行单独控制，还能对一定区域内的灯源进行集中控制。多种通讯方式的融合，极大地提高了系统的可靠性，使系统更加灵活地适应各种农业的实际需要。无论是对于大规模的农业生产，还是小规模的植物栽培，此系统都可根据需要进行灵活配置，满足不同场合的重构需求。

1　系统总体方案

系统架构如图 1 所示，根据远程控制和集中管理的思想，整个系统采用远程分布式的整体架构，由远程控制中心、集中控制器、补光终端和 LED 灯源所组成。

远程控制中心：实现对植物 LED 补光的远程控制，在远端构建服务器，实时负责 LED 管理和处理来自下行的数据。

集中控制器：主要负责对补光终端的集中控制和自动轮询，处理来自补光终端的数据反馈。农业设施通常都是极为庞大的，因此要处理的数据量会非常大，集中控制器可以很大程度地分担远程控制中心的压力。

补光终端：系统的执行单元，由传感器模块、调光模块、存储模块、通讯模块和实时时钟模块等组成，通过 PWM 调光、嵌入式通讯、传感器等技术实现对灯源的稳定高效控制。

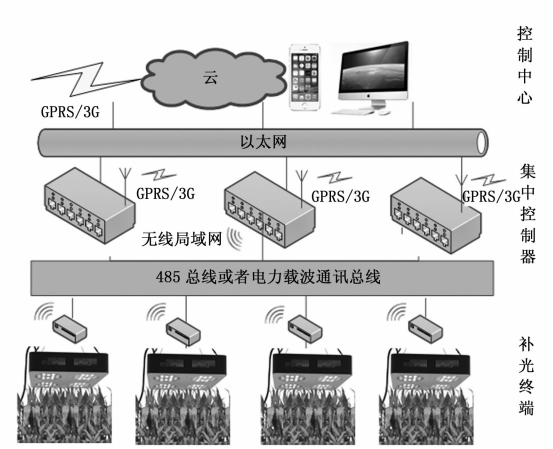

图 1　系统架构图

系统正常工作时，远程控制中心可以向集中控制器发送控制命令。集中控制器解析命令，回复上位机的同时向补光终端传送控制命令。补光终端执行集中控制器的指令，将执行状态和采集的传感器参数经由集中控制器处理后发给远程控制中心控制。

2　集中控制器的结构设计

2.1　集中控制器的硬件设计

集中控制器同时与远程控制中心和补光终端互动，管理一定区域内的所有照明终端，因此处理的数据量较大，功能要求比较高，硬件设计应当要从稳定性、可靠性、扩展性和处理速度等多方面进行考虑。集中控制器由电源模块，以太网模块、通讯扩展模块、看门狗模块、实时时钟模块、掉电存储模块、总线通讯模块和液晶显示模块等组成，其结构如图 2 所示。

集中控制器选择型号为 stm32F207 的互联型系列微控制器，此芯片强大的功能和处理速度，可以很好的满足设备的需要。电源模块采用效率高的开关电源和低纹波的低压差线性稳压电源组合的方式。看门狗模块具有电压检测和可以防止程序跑飞的功能，保证控制器正常工作。

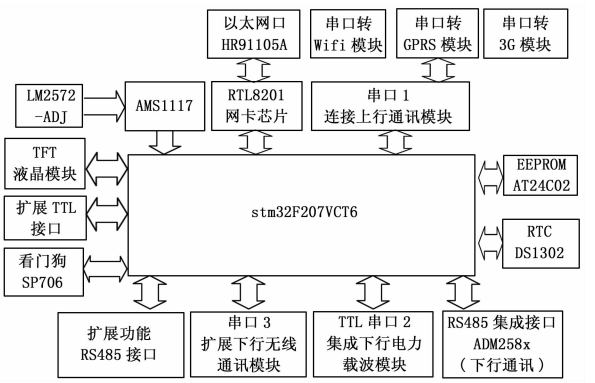

图 2　集中控制器硬件结构图

设计集中控制器时，为了更好地支持系统的多元通讯功能，也为了避免尺寸过大和有效降低成本，采用模块化设计的思想。除了以太网部分和总线部分集成在集中控制器上，其他的通讯都采用模块串口扩展的方式与集中控制器相连，这样既能够根据实际需要灵活选择所需要的通讯方式，又可以避免不必要的功能浪费。核心处理器的串口资源有限，所以在外围增添了两个多串口微处理器。集中控制器以微控制器为核心，集成或者外扩多种通讯模块。其中，串口 1 连接多串口 MCU1 可扩展上行通讯模块。串口 3 连接多串口 MCU2 可扩展下行无线通讯模块，实现补光终端的无线局域组网通信。串口 2 单独用于扩展下行电力载波模块。

2.2　集中控制器的软件结构设计

集中控制器的应用程序运行在 RT－Thread 操作系统上[9]，此操作系统具有轻型的 TCP/IP 协议栈和多窗口多线程图形用户界面，非常符合此系统多线程和多元通讯的开发需求。

集中控制器的软件流程如图 3 所示，设备上电之后，读取 EEPROM 中的配置信息，初始化外设参数，其中包括设备参数、串口参数、通讯参数和通讯方式选择等。随后程序会进入系统主程序循环，实时检测是否接收到来自远程控制中心的协议指令、来自外部的配置指令或者来自终端的反馈参数。如果有，则对收到的数据进行解析并完成相应操作。

为了更好地实现系统的多元通讯功能，应用程序支持专用软件对集中控制器的通讯模式进行配置，将所需要的通讯方式激活，设置相应的参数，并按照一定的优先级排序，详细实现

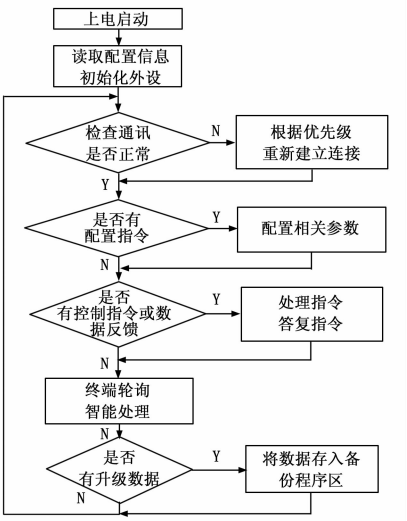

图 3 软件系统流程

过程请参照多元通讯功能的具体实现。

2.3 多元通讯设计方案

为了使系统具有系统化、多元化、可配置和可重构的特点，设计了融合多种通讯方式的集中控制器，其结构如图 4 所示。

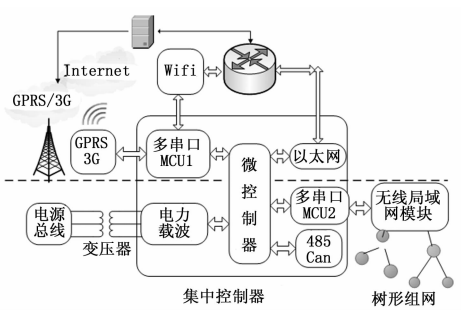

图 4 集中控制器的多元通讯结构

构图上方为集中控制器与控制中心的远程通讯方式，即系统的上行通讯结构，包括以太网、GPRS 和 3G 等通讯技术。结构图的下方为集中控制器与补光终端的通讯方式，即系统的下行通讯方式，主要有工业现场总线、电力载波和无线局域通讯等。每种通讯方式都有自己的特点，适宜不同的场合，用户可以根据需要选择一种或者多种通讯方式，见表 1。

表 1 通讯方式特点比较

通讯名称	连接方式	优势	缺陷
以太网	有线	速度快	必须接入以太网
GPRS	无线	普遍适用	速度慢
3G	无线	速度快	信号源少
现场总线	有线	可靠性高 速度较快	布线繁琐 空间要求高
电力载波	有线	可靠性高	速度很慢 污染电源线
局域无线	无线	无信号线 速度较快	易被干扰 可靠性低

3 多元通讯技术方案设计

3.1 多元通讯模式的优先级排序

为了有效地支持系统通讯的多元性，我们设定了一个通讯优先级列表，分为上行通讯优先级列表和下行通讯优先级列表，上行列表共有 8 级优先级，下行列表有 16 级优先级，所示列表中剩余的空间可以继续对通讯方式进行扩展，见表 2。考虑到补光终端有成本要求，扩展能力有限，所以下行的扩展方式中，局域组网通讯不能超过两个，否则无法实现。

表 2 上行通讯优先级列表

优先级	通讯方式	通讯方式编码
D0	以太网	0x01
D1	GPRS	0X02
D2	3G	0X04
D3	空	0X08
D4	空	0X10
D5	空	0X20
D6	空	0X40
D7	空	0X80

用户可以用专用软件将需要激活的通讯方式按照优先级加入列表中。优先级列表会以结构体的形式存于专门的存储空间里。集中控制器按照列表中的顺序跟远程控制中心或者补光进行握手，将通讯状态良好的方式记录下来，以协议格式发给远程控制中心，并自动采用状态良好并且优先级最高的通讯方式。系统在运行过程中，按照配置的时间间隔或者触发事件，向上位机发送心跳包，检测通信是否正常。如果检测到通信不正常等情况，则选择低一级的通讯方式，因此多元通讯可以使系统具有一定的自愈能力。

通讯方式和对应优先级的配置有专门的软件去实现。配置软件支持串口和网络配置，其中网络配置采用 UDP 局域网广发的方式与设备进行握手和交互，因此要求集中控制器和配置它的设备一定要在同一局域网段内。

3.2 多元远程通讯设计

多元远程通讯包括以太网、GPRS 和 3G 方式，系统中留下了可以升级的空间。以太网通讯集成在集中控制器上，详细实现流程见图 5，以太网通讯速度快，可靠性较高，但是要求现场必须能够接入以太网。

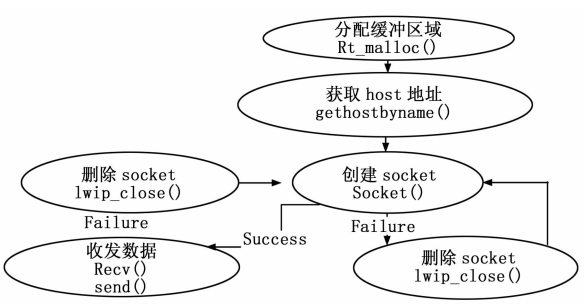

图 5 网络连接流程图

GPRS 与 3G 都是以模块扩展的方式与集中控制器进行连接，它们都是比较通用的远程无线解决方案。GPRS 信号较好，费用也相对便宜，当传输的数据量不是很大的时候，是比较理想的选择。用户可根据实际需要，选择一种或者是几种的

通讯方式。当同时选择几种通讯方式的时候，所带来的成本相对较高，然而系统就具有自愈性，可靠性高。

3.3　多元局域网络通讯系统设计

系统的多元局域通讯主要分为有线和无线两种。有线方式包括 485 总线、can 总线和电力载波总线，无线的方案主要包括 Zigbee 、 2.4 G 和 433 M 等。485 总线和 Can 总线是标准的工业总线，可靠性好，对于布线难度不大的农业现场是很好的选择方案。电力载波通讯可以将高频信号耦合在电源线中，通过单相的电源线传递信号。这种通讯方式不需要单独布置信号线，简化了现场的布线难度，并且可靠程度比无线通讯要更高。

局域无线通讯都采用树形自组网的方式实现，采用一般的星型组网只能满足短距离和小空间内的无线通讯，而采用树形组网可以很大程度上在空间上进行拓展，符合农业现场通常规模比较大的特点。根据需要设计了一个通用路由表来支持树状的自组网通讯，将集中控制器设置为协调器，所有的终端都设置为路由节点。每个设备都拥有独一无二的物理地址，且不能修改。采用多层树状组网的方式，集中控制器作为父节点，以固定时序随机信道跳频的技术向周围空间广播，其随机序列采用软件生成的 M 伪随机序列[10]，如图 6 所示。随机信道跳频技术的使用可以很大程度上避免多节点通讯冲突的发生。收到广播数据的节点以同样的跳频方式答复集中控制器。集中控制器将信号强度满足要求的子节点以物理地址由小到大的顺序并入第一层网络，写入路由表中。然后将第一层节点作为父节点，按照同样的方式去寻找子节点，将信号强度满足要求的节点并入自己的子网，编号后写入路由表，同理进行下一层的组网。每添加一个节点，路由表上会记录节点的物理地址以及网络编号，重复物理地址的节点不会被重复添加，这样网络内的设备就可以根据路由表上的树形结构进行路由寻址通讯了。

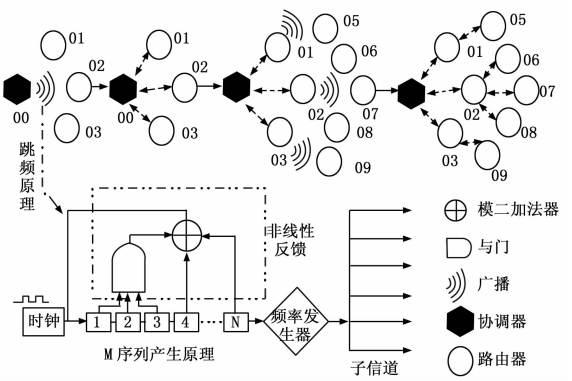

图 6　树状自组网与跳频通讯

为了保障无线通讯的可靠性，避免当某个节点出现问题的时候，造局域网络的瘫痪，采用了一个网络自愈机制，当某个节点失去连接的时候，那么此节点的子节点肯定与网络也失去了连接的途径，此时采用分层捕捞的方式尝试重新与这些节点建立连接。当协调器与某个或者某些节点失去连接达到一定时间时，则丢弃这个节点，然后由这个节点的父层按照物理地址从小到大的顺序，分别取打捞这个丢失节点的子节点，如果父层没有打捞完全，则由上一层的节点去寻找，直到全部寻找到或者协调器也没有找到的时候，认为网络建立完全，并且将路由表中重连失败的节点都删除掉。

无线局域网络通讯非常适合那些空间狭小或者地域不适合布线的场合。同时采用多种无线通讯方式或者采用有线与无线组合的通讯方式，将有助于保障通讯的可靠性。

4　实验验证

本实验将红蓝 LED 模拟植物生长灯，PC 作为远程控制中心，搭建植物促生长智能照明控制系统，对功能进行验证，主要包括远程控制中心的远程控制和监测功能、集中控制器的多元通讯功能以及无线局域网络的自愈功能。

实验系统中选择以太网和 GPRS 作为上行通讯方式，以太网优先级较高，下行选择 2.4 G 和 485 总线作为通讯方式，2.4 G 的优先级较高。实验时，先配置好系统参数，远程控制中心在远端控制和检测整个系统的运作，如图 7 所示。

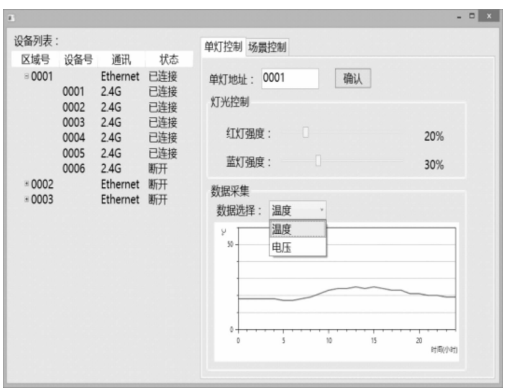

图 7　远程控制中心

系统运行稳定后，将以太网手动断开，此时集中控制器与上位机失去连接，远程控制中心无法正常收到集中控制器发送的心跳包，当失去连接一段时间后，系统自动转为 GPRS 通讯，远程服务器显示切换信息。然后将任意一个 2.4 G 模块断电，此模块和其子模块会与协调器失去连接，一段时间后，其子模块都被重新找到，并建立连接。最后人工断掉集中控制器的 2.4 G 通讯，由于集中控制器无法收到任何模块的信息，认定下行无线网络失去连接，然后会由优先级较低的 485 总线替代，测试结果良好，符合实验的预期结果。

5　结束语

针对市场上通用的植物生长灯订制成本高、可靠性低和灵活性差等问题，开发了一套 LED 植物促生长智能照明控制系统。该控制系统采用多元通讯的方法极大地提高了系统的可靠性和稳定性，能够适应各种复杂的农业现场状况。针对最复杂和最容易遭到干扰的无线局域通讯，进行了自组网和自愈功能的优化。最后进行了功能验证，测试结果良好。该控制系统有很强的拓展性，在后续研究中，将继续添加更多的通讯方式，并且深入优化通讯方式的切换过程。与此相对应，系统的复杂程度会进一步增加，如何使系统对于使用者更加友好也将是重要的研究方向。

参考文献：

[1] 刘文科，杨其长. 植物工厂 LED 照明应用的几点思考 [J]. 照明工程学报，2015，26 (4)：98－102.

[2] 袁　佳，焦志曼，余建波，等. 基于 GPRS 和 ZigBee 的远程分布式灯光控制系统 [J]. 计算机工程与设计，2015，36 (1)：58－61.

（下转第 105 页）

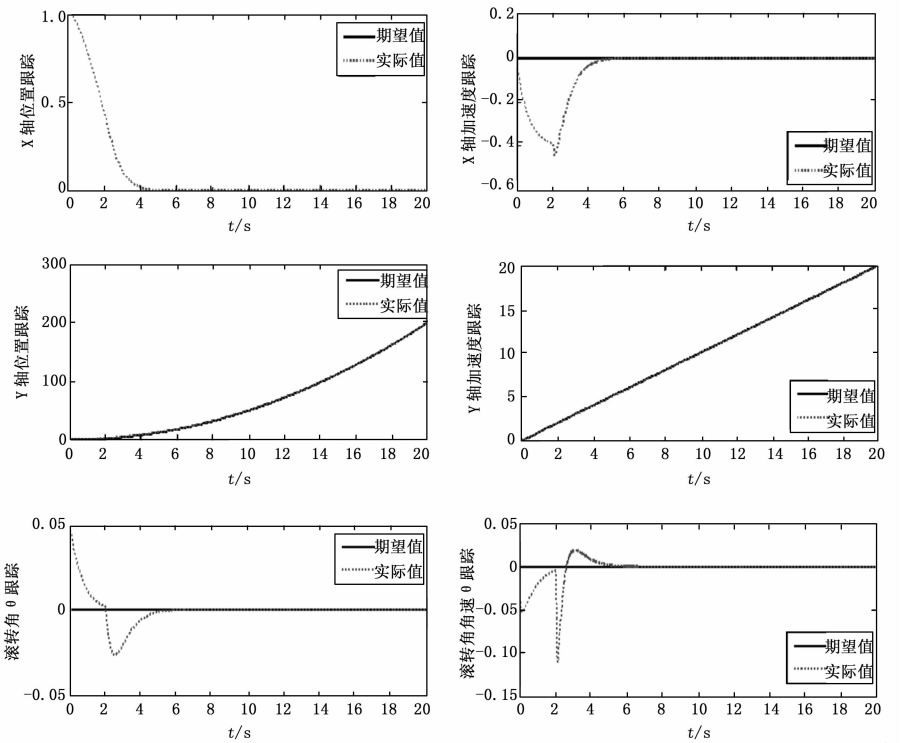

图 2　仿真结果图

5　结论

本文建立了 VTOL 飞行器动力学模型，并通过系统模型零动态的分析，将其解耦成一个最小相位系统和一个非最小相位系统，利用理想内模将输出跟踪问题转化为状态跟踪误差，分别对解耦的两个系统分别设计了滑模控制器，利用 Lyapunov 理论证明了系统的稳定，并且具有一致渐近稳定，同时给出了控制参数的求取过程。最后通过仿真验证了设计的滑模控制器能够实现位置的无稳态误差跟踪控制，具有较强的鲁棒性。

参考文献：

[1] 刘　凯，叶赋晨. 垂直起降飞行器的发展动态和趋势分析 [J]. 航空工程进展，2015，6 (2)：127－138.

[2] 王冠林，武　哲. 垂直起降无人机总体方案分析及控制策略综合研究 [J]. 飞机设计，2006 (3)：25－30.

[3] Spong M W. Partial Feedback linearization of underactuated mechanical systems [A]. Proceedings of the IEEE/RSJ/GI International Conference on Intelligent Robots and Systems [C]. Munich，Germany，1994：314－321.

[4] 刘盛平，陆　震，吴立成. 垂直起降飞机的全局轨迹跟踪控制 [J]. 控制与决策，2007，22 (8)：899－902.

[5] 贾鹤鸣，王　璐. 欠驱动垂直起降 UAV 的全局 K 指数轨迹跟踪 [J]. 中南大学学报 (自然科学版)，2013，44 (8)：3231－3239.

[6] 袁瑞侠，刘金琨. 欠驱动 VTOL 飞行器的位置反馈动态面控制 [J]. 系统工程与电子技术，2014，36 (11)：2266－2271.

[7] 蒋元庆，杨　浩，姜　斌. 基于级联观测器的垂直起降飞机鲁棒容错控制 [J]. 信息与控制，2015，44 (1)：76－82.

[8] 刘金琨，龚海生. 有输入饱和的欠驱动 VTOL 飞行器滑模控制 [J]. 机电与控制学报，2013，17 (3)：92－97.

[9] 常　琳，金　光，范国伟. 基于 terminal 滑模控制的小卫星机动方法 [J]. 光学 精密工程，2015，23 (2)：485－496.

[10] 李　迪，陈向坚，续志军. 增益自适应滑模控制器在微型飞行器飞行姿态控制中的应用 [J]. 光学 精密工程，2013，21 (5)：1183－1191.

[11] 邵克勇，马千惠，邹　运，等. 基于径向基函数神经网络的多关节机器人滑模控制器 [J]. 计算机测量与控制，2014，22 (5)：1385－1387.

[12] 苏善伟，朱　波，向锦武，等. 非线性非最小相位系统的控制研究综述 [J]. 自动化学报，2015，41 (1)：9－21.

(上接第 83 页)

[3] 刘晓英，徐志刚，焦学磊，等. 植物照明的研究和应用现状及发展策略 [J]. 照明工程学报，2013，24 (4)：1－7.

[4] 江　天，张　潇. 智能 LED 植物生长系统 [J]. 照明工程学报，2013，(Z1)：168－172.

[5] 赵启蒙，周小丽，周明琦，等. LED 植物补光照明系统对拟南芥萌发率的效用探究 [J]. 照明工程学报，2012，23 (3)：64－68.

[6] 徐秀知，王淑凡，王　巍，等. 全数字智能 LED 植物补光灯控制系统 [J]. 天津工业大学学报，2011，31 (4)：57－60.

[7] 岑益超，余桂英，季杭峰，等. 新型智能 LED 植物组培光照系统设计 [J]. 中国农机化，2014，35 (5)：91－93.

[8] 经　纬，许　堃，余建波. 基于 GPRS 和 Zigbee 的节能型 LED 路灯智能控制系统 [J]. 计算机测量与控制，2015，5 (11)：1538－1541.

[9] 李　琦，李　梅. 基于 RT－Thread 的工业远程控制器设计 [J]. 实验室研究与探索，2013，32 (9)：61－64.

[10] 吕　虹，段颖妮，管必聪. 一种非线性最大长度伪随机序列发生器的设计 [J]. 电子器件，2008，31 (3)：898－900.