

doi: 10. 6046/gtzyyg. 2018. 02. 32

引用格式: 任丽艳,李英成,薛艳丽,等. 基于北斗技术的无人机飞行监管系统开发与应用[J]. 国土资源遥感,2018,30(2):238 – 242. (Ren L Y, Li Y C, Xue Y L, et al. Development and application of the UAV flying supervisory system based on Beidou technology [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2018, 30(2): 238 – 242.)

基于北斗技术的无人机飞行监管系统开发与应用

任丽艳^{1,2}, 李英成^{1,2,3}, 薛艳丽^{1,2,3}, 丁晓波^{1,2,3}, 吴 豪^{1,2}

(1. 航空遥感技术国家测绘地理信息局重点实验室,北京 100039; 2. 中测新图(北京)遥感技术
有限责任公司,北京 100039; 3. 中国测绘科学研究院,北京 100039)

摘要: 利用北斗导航技术监管无人机飞行作业是无人机飞行监管系统研发的一种全新发展模式。全面介绍了最新研发的低空轻小型无人机飞行监管系统的研发思路、开发环境和功能构成,详细研究了无人机资源与任务注册、北斗飞行诸元接收、无人机飞行监管与告警、资源规划配置等系统关键技术。通过全国多地区的测试应用,验证了该系统数据传输可靠,监管功能稳定,可视化效果良好。

关键词: 北斗导航技术; 无人机; 飞行监管; 三维可视化

中图法分类号: TP 311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001 – 070X(2018)02 – 0238 – 05

0 引言

低空轻小型无人机(unmanned aerial vehicle, UAV)具有成本低、易操作和高度灵活性的特点,能够携带相关设备在空中执行一些特殊任务^[1–2]。经过几十年的发展,其技术已经较为成熟,并广泛应用在国土资源监测、灾害应急服务和农林遥感等多个领域^[3–9]。然而,这类无人机机型多,装备分散,缺乏统一管理,且飞行高度低、速度慢、体积小,没有安装大型无人机的通信应答设备,无法使用传统的空管方式,给民航等正常飞行任务带来严重威胁。随着国家逐步对低空的开放,无人机飞行应用的快速发展迫切需要飞行作业的安全管理。

从监管技术发展来说,目前低轻型无人机多数采用无线电台的飞行监管模式,受限于无线电台功率,信号传输距离短,不具备远程监管的能力^[10–11]。现阶段国内外无人机远程监管尚处于探索期,美国航空航天局开发的无人机空中交通管制系统,在无人机上安装低空交通与飞行空间安全系统(low altitude traffic and airspace safety, LATAS),利用无线网络回传数据,在云端软件中显示无人机的位置和姿态,并能自动警醒避免彼此碰撞^[12];美国联邦航空管理局推出的无人机网上登记服务,通过注册备案

无人机进行监管^[13];国内的 AOPA U – Cloud 系统,在无人机上装备 SIM 卡,基于互联网和云计算技术,将其飞行航迹、速度等实时纳入到云数据库,实现对无人机的监控^[14];DJI GEO 系统通过与其硬件产品绑定,利用无线网络提供所在区域的飞行限制和安全信息提示^[15];U – Care 系统也具备无人机云监管、飞行作业管理等无人机监管与运营功能^[16]。

随着无人机监管系统在推广应用中的不断完善,需要融入更多的高新信息技术。北斗导航卫星系统具有(导航)定位、(精密)授时和短报文通信功能,可以在全国范围内提供全天候的卫星导航和短信传输服务。北斗卫星导航系统自 1994 年开始制定了“三步走”发展规划,即实现“区域有源定位(2000 年)–区域无源定位(2012 年)–全球无源定位(2020 年)”,最终将实现全球的卫星导航能力。

为满足无人机资源的统一管理,实现飞行作业任务按照“注册报批–合理判断–任务统筹”的业务化流程,在充分研究北斗导航卫星技术特点的基础上,基于“‘863’计划”课题,本文项目组研发了基于北斗技术的针对低空轻小型无人机的飞行监管系统,以解决低轻型无人机的快速标识与有效监管问题。本文从该监管系统的研发思路、开发环境和功能构成等方面详细阐述系统的开发与应用,并在四川省、新疆维吾尔自治区和湖北省等地区开展了

收稿日期: 2016 – 11 – 19; 修订日期: 2017 – 01 – 08

基金项目: 国家重点研发计划“国家、部门与地方应用示范”(编号: 2016YFC0803109)、“多源灾情信息与多尺度空间信息整合”(编号: 2016YFC0803104)和国家高技术研究发展计划(“863”计划)“基于北斗/GPRS/3G 技术的无人机遥感网络体系关键技术研究与应用”(编号: 2013AA122104)共同资助。

第一作者: 任丽艳(1982 –),女,博士,从事地理信息系统研发与应用方面的研究。Email: swallow. ren@ 163. com。

多类型作业环境的测试和验证工作。

1 系统研发

1.1 研发思路

低空轻小型无人机飞行监管系统研发思路主要是在硬件和软件 2 个层面将北斗导航卫星技术与无人机飞行监管工作流程进行深度融合。研发内容包括标准规范制定、硬件研制、软件研发、软硬件集成和测试飞行等。

硬件方面：研发机载/地面无人机监管单元、硬件接口协议以及飞行诸元(无人机位置、姿态参数)传输协议。在此基础上,利用北斗短报文通信机制与链路,将无人机的飞行诸元实时回传至监管中心数据库,相关部门可以根据采集到的数据,利用软件对无人机实施监控。

软件方面：设计并构建一系列无人机监管相关数据库,实现数据的搜集和整理入库；研发软件平台,实现对无人机飞行监管前数据的注册报批审核,飞行监管时的北斗数据接收、飞行轨迹可视化、违规报警、规划调度以及飞行监管后的数据发布。主要涵盖 4 个功能模块：①无人机资源与任务的注册审批发布,实现飞行监管前数据的报批审核与资源统一管理；②北斗数据接收,实现飞行诸元的实时接收；③飞行任务监管,实现飞行监控与违规报警；④资源规划配置,实现无人机应急服务调度管理。

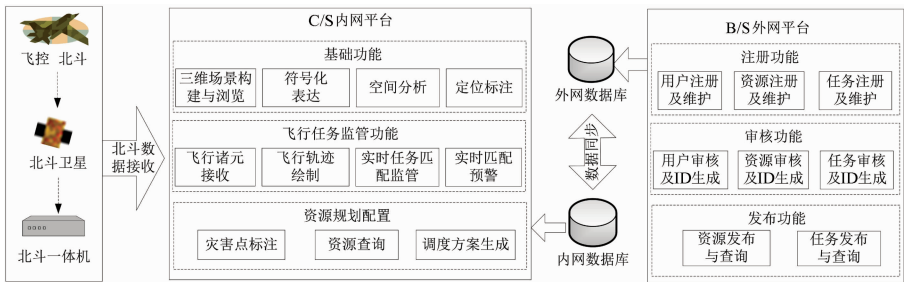


图 1 系统功能构成

Fig. 1 Structure of the system function

1.3.1 注册、审核和发布

系统设计了 3 类用户：未注册用户、注册用户和管理员,不同级别的用户具有不同的权限。未注册用户通过外网平台中的用户注册模块注册、审批成为注册用户。拥有无人机资源的注册用户进入资源注册系统填报无人机资源信息(如基本信息、飞行平台信息、飞控信息和拥有单位等),用于无人机系统的登记统计及规划管理；计划执行飞行任务的注册用户进入任务注册系统填报任务信息(如任务范围、飞行时间、飞行高度和所用无人机型号等),

1.2 开发环境

按照监管平台应满足用户广泛性和数据保密性的要求,系统设计了外网 B/S 架构和内网 C/S 架构 2 部分,外网和内网的开发环境如表 1—2 所示。

表 1 外网开发环境

Tab. 1 Development environment of the wide area network

名称	内容
PC 硬件指标	Intel(R) Core(TM) i5 -2400 CPU @3.10 GHz
桌面操作系统	Microsoft Windows 7 -32
系统开发软件	Eclipse
开发包	JDK
开发语言	Java,JSP
服务器	Tomcat

表 2 内网开发环境

Tab. 2 Development environment of the local area network

名称	内容
PC 硬件指标	Intel(R) Core(TM) i5 -2400 CPU @3.10 GHz
桌面操作系统	Microsoft Windows 7 -32
系统开发软件	Microsoft Visual. net, TopWorld
开发包	Diectx 9.0c, . Net Framework3.5
开发语言	C#

1.3 功能构成

系统功能构成如图 1 所示。其中,外网平台注册、审核飞行监管前的无人机资源与任务数据以及发布飞行监管后的数据,并将数据同步更新至内网；北斗一体机中的北斗模块通过串口直接与内网监管平台连接,实现无人机飞行诸元数据的传输；内网平台则通过匹配外网数据与北斗数据实现无人机飞行时监管功能以及三维可视化。

报批飞行任务。管理员根据资源注册信息的合法性、合理性和重复性以及任务注册信息的空域审批、时间审批等条件,24 h 内确认和审核注册信息并反馈审核结果状态。审核通过后,系统会为无人机和任务分配唯一的标识 ID。审核通过的任务信息即可进行无人机飞行任务监管,审核未通过的则反馈存在问题。

完成飞行监管后,系统根据用户注册权限提供所有信息的汇总浏览、各项指标的介绍信息,共享无人机资源与任务数据以及飞行结果数据,相关部门

可以有效掌控无人机的信息资源,以备优化配置并统一管理和调度。

1.3.2 北斗数据接收

如图 2 所示,首先将机载无人机监管单元采集的飞行诸元数据和接收方 ID 的通信申请信号加密,并利用北斗短报文技术发送至北斗卫星;然后,北斗卫星将信号以短报文方式转发到地面无人机监管单元;最后,地面无人机监管单元实时接收和解密

短报文,并推送给无人机飞行监管软件系统的数据接收模块。

北斗数据接收软件模块操作流程为:启动无人机通讯设置,配置端口、波特率等硬件参数,完成北斗监管装置的软硬件连接;点击“跟踪”启动监管,当连接状态显示经纬度坐标信息时,表示数据接收成功;点击“断开”则停止监管,当连接状态显示关闭时,表示数据接收失败。

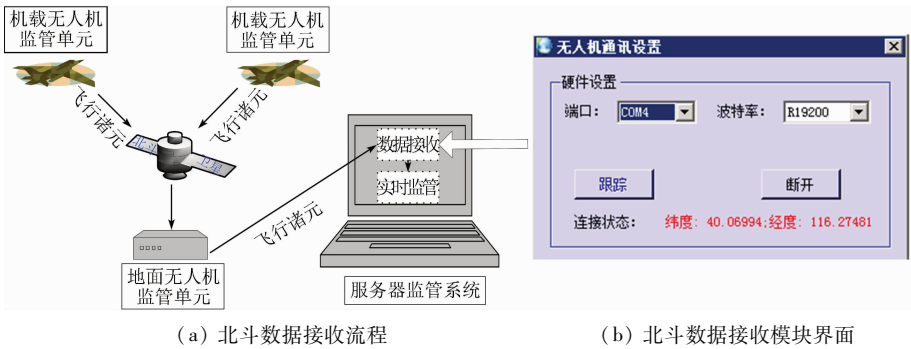


图 2 北斗数据接收逻辑流程与功能

Fig. 2 Logical process and function of Beidou data reception

1.3.3 基础功能

系统是基于自主研发的“神州遨游 TopWorld”基础平台开发的三维可视化平台,其基础功能包括:①图层化管理,加/卸载监管区域的影像、地形等基础数据以及管制区和飞行任务注册范围等无人机监管专题数据,控制数据的显示模式;②视图,提供一系列基本浏览操作功能,包括旋转、平移及缩放等;③符号化表达,对系统中无人机等专题对象配置相应的符号;④空间分析,提供空间距离量测和面积量测等功能。

1.3.4 飞行任务监管

在任务飞行过程中,借助北斗模块获取飞行诸元信息(如飞行瞬时空间位置、飞行航向及飞行速度等)并将其入库,然后在监管平台上进行三维实时监控、匹配预警和可视化分析。具体包括以下 4 方面内容:

- 1) 一键启动对所有任务的监管,可切换当天任务资源列表和在线资源树形分布 2 种监管模式,通过动态监管面板显示当前任务的基本信息和任务状态信息,并在三维场景中叠加飞行任务注册范围和管制区范围。
- 2) 当接收到无人机飞行数据时,三维场景中显示出无人机标识并实时绘制其飞行轨迹,可实时动态显示飞行诸元信息并查看无人机的资源信息。
- 3) 实时监控过程中,将飞行轨迹(或坐标)与飞行管制区域和任务注册信息进行实时匹配,预警提示越界飞行、进入飞行管制区以及未注册飞行等多

种情况,出现违规现象时,无人机闪烁提示,并显示和发送告警短信。

4) 监管结束后,统计分析当天任务执行情况,生成统计文档,如飞行时长、违规信息等内容。

1.3.5 资源规划配置

系统的无人机资源与飞行任务注册数据库提供了大量的信息资源,因此,通过查询统计等功能建立了一套应急服务调度流程,在此基础上,通过对无人机资源规划、配置和调度,为相关部门提供管理和决策支持。主要包括以下 3 个环节:

- 1) 灾害点的选取标注。主要采用符号标注的功能。
- 2) 资源的综合查询和显示。系统提供了基于语义和空间范围 2 种查询模式。语义查询可以通过输入行政区域和系统型号等进行精确查询或模糊查询;空间查询可按空间范围或者按距灾害点的空间距离进行设置查询。查询结果可通过弹出结果面板和表格记录等方式进行浏览,并在三维场景中显示。
- 3) 调度方案生成。统计输出查询结果并生成调度方案,包括执行飞行任务的注册用户、无人机机型和飞行任务安排等。

2 系统应用

该系统在四川省、新疆维吾尔自治区和湖北省等多地进行了测试应用。本文仅以武汉市试验为例介绍系统的应用流程。本次测试监管中心设在北

京,共设计了 3 架无人机在武汉进行飞行试验。

测试人员通过 B/S 客户端完成用户注册并登录 B/S 客户端。在资源注册模块和任务注册模块分别完成无人机资源信息和飞行任务信息的注册,提交信息进行审核;审核通过后,分别自动生成标识无人机和任务的唯一 ID 号。

无人机资源和飞行任务注册完成后,相关信息同步传输到 C/S 客户端,监管用户通过 C/S 客户端对飞行任务进行监管。监管功能界面如图 3 所示。

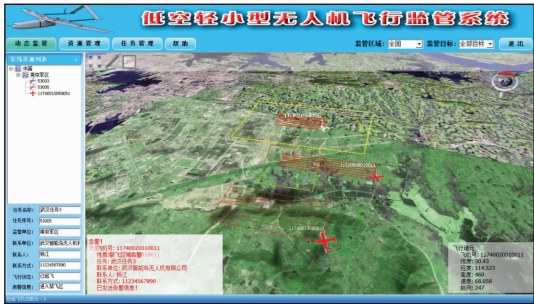


图 3 系统内网监管功能界面

Fig.3 Monitoring and management function interface of the LAN system

从图中可见区域三维地形地貌、注册任务范围、飞行轨迹和无人机标识等监管场景。根据北斗模块获取的飞行诸元信息,获知在线的 3 架无人机状态分别为越界并在禁飞区飞行、未注册飞行和正常飞行,点击单架无人机可以获取该无人机的实时姿态信息及其报警信息。

本次试验还全面测试了监管系统的功能和性能,包括注册系统数据上传、无人机飞行诸元实时传输的稳定性和可靠性以及无人机飞行监管的可靠性和可视化效果。监管平台在数据接收过程中非常稳定,接收的数据未出现错误,可视化效果良好。

3 结论

基于北斗技术的无人机飞行监管系统通过对无人机资源与任务注册、北斗飞行诸元接收、无人机飞行监管与告警、资源规划配置等关键技术的研究和实现,并基于 B/S 和 C/S 框架实现了无人机系统注册与监管功能。多地区的测试应用试验表明:

1)系统可实现无人机资源与任务的注册、审批以及共享,统一管理和唯一标识无人机资源任务,为飞行监管提供数据支撑。

2)可实现多架无人机飞行诸元的同时远程传输与 3D 可视化,提供无人机的实时位置服务与姿态信息。

3)在中心节点可实现全局无人机飞行的实时

监控和指挥,提供了无人机实时位置、飞行轨迹以及违规飞行报警信息,可联系作业人员执行控制指挥。

4)通过资源规划配置和管理为管理部门指挥调度和决策提供依据。

5)本监管系统首次将北斗通讯技术应用于无人机飞行监管,具有重要的应用价值。一方面,北斗导航卫星系统的引入解决了无人机飞行监管目前所面临的系列问题,使得国家空管和科技部门能够有效掌控无人机遥感网络的信息资源,实时监管无人机飞行作业安全,实现资源的优化配置、统一管理和调度;另一方面,基于北斗技术的无人机飞行监管系统的广泛应用为北斗导航卫星系统的推广提供了技术和硬件基础,有利于其在无人机领域的扎根和快速发展。随着我国民用无人机空管技术和管理机制的逐步形成,低空轻小型无人机的监管功能将会不断得到完善。

参考文献 (References):

[1] 李德仁,李 明. 无人机遥感系统的研究进展与应用前景[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2014,39(5):505-513.
Li D R, Li M. Research advance and application prospect of unmanned aerial vehicle remote sensing system[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2014, 39(5): 505-513.

[2] 范承嘯,韩 俊,熊志军,等. 无人机遥感技术现状与应用[J]. 测绘科学,2009,34(5):214-215.
Fan C X, Han J, Xiong Z J, et al. Application and status of unmanned aerial vehicle remote sensing technology[J]. Science of Surveying and Mapping, 2009, 34(5): 214-215.

[3] 廖小罕,周成虎. 轻小型无人机遥感发展报告[M]. 北京:科学出版社,2016:1-300.
Liao X H, Zhou C H. Light and Small UAV Remote Sensing Development Report[M]. Beijing: Science Press, 2016: 1-300.

[4] 唐远彬,刘 文,任少华. 基于无人机遥感技术的潮间带高程测量方法[J]. 国土资源遥感,2013,25(2):42-46. doi:10.6046/gtzyyg. 2013. 02. 08.
Tang Y B, Liu W, Ren S H. Tideland height measurement based on UAV remote sensing and tidal observation[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(2): 42-46. doi:10.6046/gtzyyg. 2013. 02. 08.

[5] 王利民,刘 佳,杨玲波,等. 基于无人机影像的农情遥感监测应用[J]. 农业工程学报,2013,29(18):136-145.
Wang L M, Liu J, Yang L B, et al. Applications of unmanned aerial vehicle images on agricultural remote sensing monitoring[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(18): 136-145.

[6] 赵星涛,胡 奎,卢晓攀,等. 无人机低空航摄的矿山地质灾害精细探测方法[J]. 测绘科学,2014,39(6):49-52,64.
Zhao X T, Hu K, Lu X P, et al. Precise detection method for mine geological disasters using low-altitude photogrammetry based on unmanned aerial vehicle[J]. Science of Surveying and Mapping,

2014,39(6):49-52,64.

[7] 丁雷龙,李强子,杜鑫,等. 基于无人机图像颜色指数的植被识别[J]. 国土资源遥感,2016,28(1):78-86. doi:10.6046/gtzyyg.2016.01.12.

Ding L L,Li Q Z,Du X,et al. Vegetation extraction method based on color indices from UAV images[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2016,28(1):78-86. doi:10.6046/gtzyyg.2016.01.12.

[8] 毕凯,黄少林. 无人机航测技术在农村土地调查工作底图制作中的应用[J]. 国土资源遥感,2016,28(2):149-153. doi:10.6046/gtzyyg.2016.02.23.

Bi K,Huang S L. Application of UAV aerophotogrammetry to base-map production in rural land survey[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2016,28(2):149-153. doi:10.6046/gtzyyg.2016.02.23.

[9] 胡勇,张孝成,马泽忠,等. 无人机遥感影像中农村房屋信息快速提取[J]. 国土资源遥感,2016,28(3):96-101. doi:10.6046/gtzyyg.2016.03.16.

Hu Y,Zhang X C,Ma Z Z,et al. Rural residential area extraction from UAV remote sensing imagery[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2016,28(3):96-101. doi:10.6046/gtzyyg.2016.03.16.

[10] 卢艳军,刘季为,张晓东. 无人机地面站发展的分析研究[J]. 沈阳航空航天大学学报,2014,31(3):60-64.

Lu Y J,Liu J W,Zhang X D. Analysis of the development of UAV GCS[J]. Journal of Shenyang Aerospace University,2014,31(3):60-64.

[11] Zhang J X,Yu T,Chen J P,et al. Design of ground monitor and control system for UAV remote sensing based on world wind[C]// Proceedings of the 3rd International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS). Beijing, China: IEEE,2012;51-54.

[12] 杨林. 美国四家公司的无人机空管系统完成初步测试[EB/OL]. (2015-10-27). <http://news.carnoc.com/list/327/327366.html>.

Yang L. Drone airspace management system of four American companies completed initial testing[EB/OL]. (2015-10-27). <http://news.carnoc.com/list/327/327366.html>.

[13] 宇辰网. 美国联邦航空管理局的无人机监管“壮举”[EB/OL]. (2016-5-16). <http://www.cannews.com.cn/2016/0516/153838.shtml>.

YUCHEN. Unmanned aerial surveillance“feat”of Federal Aviation Administration[EB/OL]. (2016-5-16). <http://www.cannews.com.cn/2016/0516/153838.shtml>.

[14] 赵孜. U-Cloud 正式上线,无人机监管迈出一大步[EB/OL]. (2016-4-18). <http://www.yuchen360.com/news/7022-0-0.html>.

Zhao Z. U-Cloud officially online,unmanned aerial surveillance moved forward a big step[EB/OL]. (2016-4-18). <http://www.yuchen360.com/news/7022-0-0.html>.

[15] Bluesky. 即时空管服务,GEO 和 AOPA U-Cloud 谁能占得先机?[EB/OL]. (2015-11-22). <http://www.loveuav.com/article-350-1.html>.

Bluesky. Real time air traffic control services,GEO and AOPA U-Cloud who can take the lead?[EB/OL]. (2015-11-22). <http://www.loveuav.com/article-350-1.html>.

[16] 宇辰网. U-Care 或将成为中国无人机空中交通管理系统[EB/OL]. (2015-12-30). <http://www.youuav.com/news/detail/201512/2318.html>.

YUCHEN. U-Care may become the unmanned aerial traffic management system in China[EB/OL]. (2015-12-30). <http://www.youuav.com/news/detail/201512/2318.html>.

Development and application of the UAV flying supervisory system based on Beidou technology

REN Liyan^{1,2}, LI Yingcheng^{1,2,3}, XUE Yanli^{1,2,3}, DING Xiaobo^{1,2,3}, WU Hao^{1,2}

(1. Key Laboratory for Aerial Remote Sensing Technology of National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation, Beijing 100039, China; 2. China TopRS Technology Co., Ltd., Beijing 100039, China; 3. Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100039, China)

Abstract: Using the Beidou navigation technology to supervise UAV flying operations is a new mode in the UAV flying supervisory system. This paper comprehensively presents the research idea, development environment and function structure of the latest system, and investigates in detail some key technologies such as registration of UAV resources and tasks, reception of Beidou flight parameters, UAV flying supervisory and alarm, and resources planning and allocation. Many kinds of test application show that the system has a reliable data transmission, stable supervision function and good visualization.

Keywords: Beidou navigation technology; unmanned aerial vehicle(UAV); flying supervisory; 3D visualization
(责任编辑: 李瑜)