基于北斗 RDSS 的通用航空监视系统设计与实现

朱一龙*，刘瑞华，王剑，翟显
中国民航大学 电子信息与自动化学院，天津 300300

摘　要：介绍了一种基于北斗 RDSS 的通用航空监视系统设计与实现，该系统利用北斗的精确定位和短报文技术实现了对通航飞机的指挥和监控。首先设计了监视系统的整体架构，分为北斗地面监视中心系统和北斗机载终端系统两个子系统。然后编码实现定位信息、通信信息的数据处理，最终实现 GIS 上的系统运行。研究结果证明了北斗 RDSS 在通航监视服务上的可用性。

关键字：北斗 RDSS 应用；通用航空；监视系统；北斗短报文

中图分类号：V249.3　　**文献标志码**：A　　DOI：10.19452/j.issn1007-5453.2018.02.055

作为我国自主建设、独立运行的北斗卫星导航系统，不仅可以与世界上其他卫星导航系统兼容共用，而且可以全天候、全天时为各类用户提供高精度、高可靠的定位、导航和授时服务。与美国 GPS 卫星导航系统相比，北斗导航系统还提供了 GPS 所不具备的短报文通信服务。

与此同时，我国通用航空快速发展，针对类型多样、飞行自主的通用航空，民航现行陆基空管系统难以提供可靠、灵活的飞行服务，通用航空飞行安全技术保障手段的匮乏，在一定程度上也制约了我国通用航空产业的发展[1]。当前缺少一种完整可靠的监视系统来保障通用航空器安全飞行作业。因此，有必要对北斗 RDSS 通用航空监视进行研究，以推进通航飞行作业标准化。

本次研究的重点从通航飞行实际应用需求出发，开发出初步满足通航监视需要并可稳定运行的北斗短报文监视系统。

1 基于北斗 RDSS 的通用航空监视系统设计方案

1.1 整体设计

本监视系统分为两个子系统：北斗地面监视中心系统和北斗机载终端系统。

地面监视中心系统可以接收下属所有通航飞机的位置和通信信息[2]，以满足监视需要，而且可以通过点对点或者通播的形式向下属飞机上的机载终端系统发送北斗通信报文。这些报文可以是一些飞行作业指令，也可以是一些位置数据、报警信息等，并且系统会将重要数据自动存入数据库。而机载终端系统更侧重于当前通航飞机实时飞行服务和作业、飞行状态的及时上报。

硬件设备均通过 RS232 串口与软件系统连接，整体软硬件架构如图 1 所示。本系统地面监视中心使用了 BDTX-ZH 型号的“北斗卫星指挥型用户机”硬件设备进行系统测试，机载终端系统使用了 BDSC-02 的“北斗数据传输机载终端”硬件设备进行系统测试。

1.2 北斗地面监视中心系统设计实现

（1）方法概述

北斗地面监视中心系统的服务重点在于实时监控大量的下属通用航空器的位置，并提供防相撞报警、普通作业指令发送接收功能和飞行计划航线同步功能等。中心系统基本架构如图 2 所示，北斗地面监视中心系统需要将接收到的北斗 RDSS 数据进行基本的数据处理。

收稿日期：2017-12-06　　退修日期：2018-01-08；　　录用日期：2018-01-10
基金项目：北斗机载设备技术标准规定与应用研究项目（AADSA0007）；星基定位监视与机载设备适航技术项目（2016YFB0502402）
* 通信作者 .Tel.：13212101736　　E-mail：2425070771@qq.com
引用格式：Zhu Yilong, Liu Ruihua, Wang Jian, et al. Design and implementation of general aviation surveillance system based on BDS RDSS [J]. Aeronautical Science & Technology, 2018, 29 (02): 55-60. 朱一龙，刘瑞华，王剑，等．基于北斗 RDSS 的通用航空监视系统设计与实现［J］．航空科学技术，2018，29（02）：55-60.

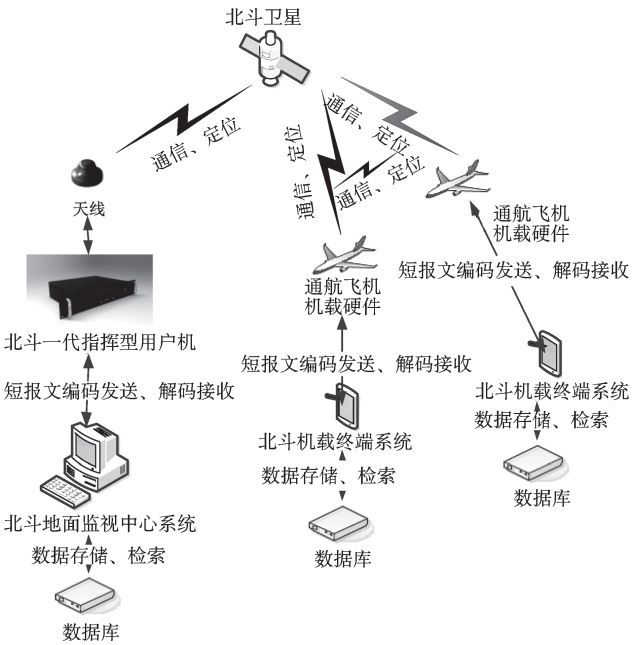

图 1 通航监控系统整体架构

Fig.1 The overall architecture of general aviation surveillance system

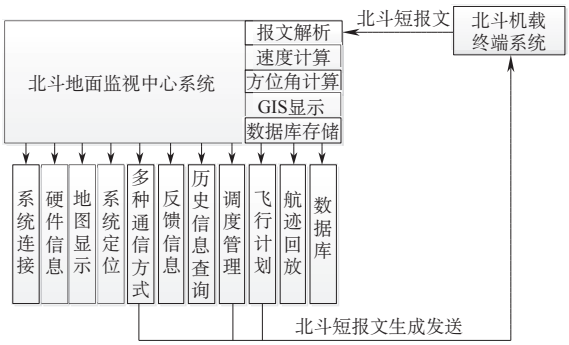

图 2 地面监视中心系统基本架构

Fig.2 The basic architecture of ground surveillance center system

(2) 数据处理

数据处理是北斗地面监视中心系统的核心部分，所有的服务均在此基础上开展。系统数据处理流程包括：数据的接收、解析、应用服务、报文生成、报文发送。其中应用服务为用户操作使用部分，是用户人机交互的环节，也是数据流动的桥梁，其余 4 项为底层数据处理部分。

以北斗地面监视中心系统定位信息处理为例，定位信息包括接受和发送两部分。处理流程如图 3 所示。

(3) 系统实现

由于北斗短报文位置报告协议的限制，中心系统在收到机载设备位置报告时，需要编程实现通航飞机速度和方位角计算，并同解析好的位置数据一起实时更新在 GIS 电子地理信息系统平台上。

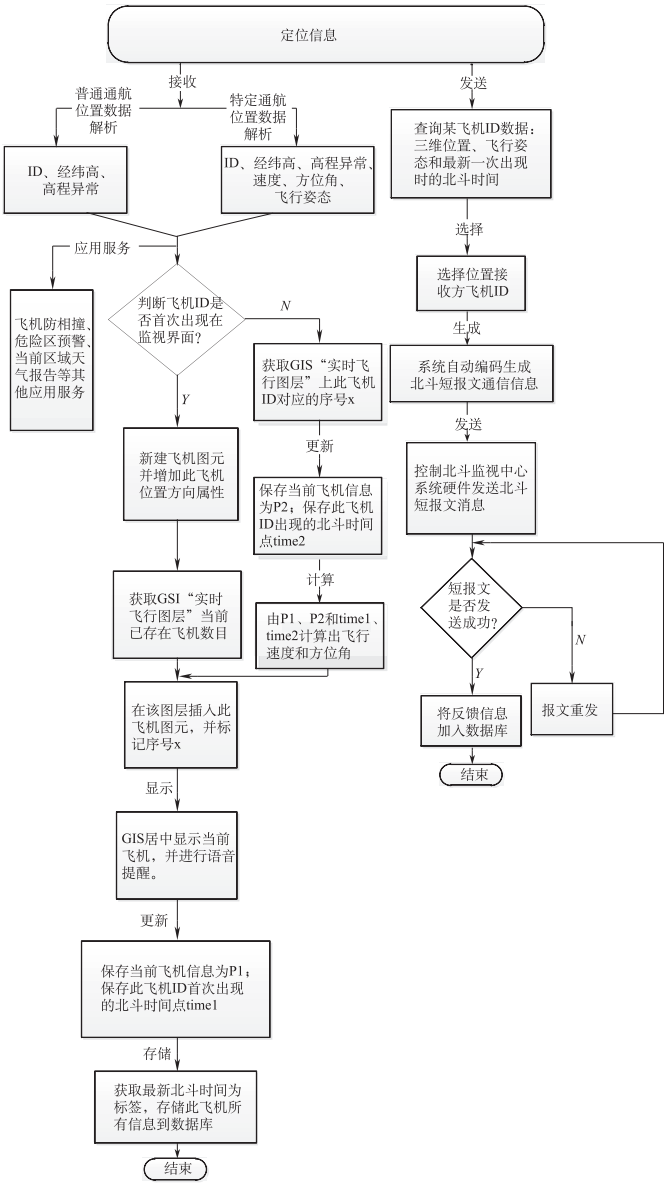

图 3 地面监视中心系统定位信息处理流程

Fig.3 The process of ground surveillance center system positioning for information processing

考虑到监控可能发生在无网络地区，监视系统采用的地图技术是 MapInfo 公司提供的具有强大地图分析功能的 ActiveX 控件 MAPX，满足了系统提供离线服务的要求。所有的位置数据、通信数据均以发生时的北斗时间为标签存入数据库。

通航公司根据实际的作业服务需求，应提前设计好常用作业指令，以方便实际使用中北斗短报文快捷发出。

地面监视中心系统的天线需安装在无遮挡的地方，以减少环境对北斗信号的影响。具体实现如图 4 所示。

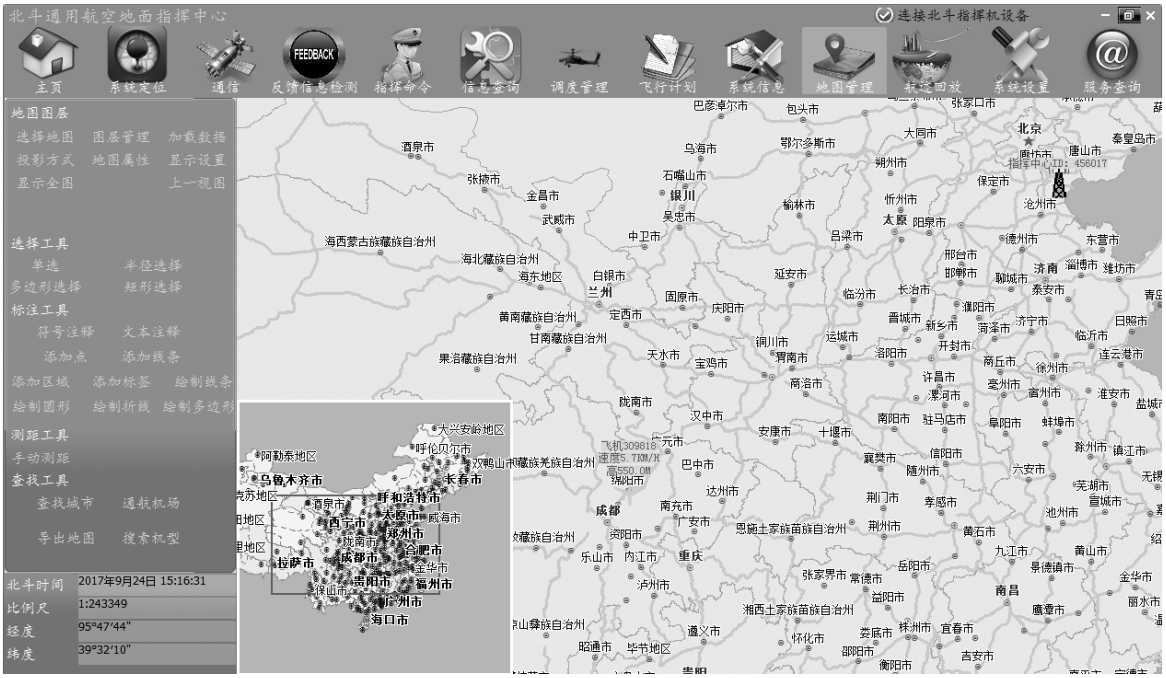

图 4　北斗地面监视中心系统的实现

Fig.4　The realization of BDS ground surveillance center system

1.3 北斗机载终端系统设计实现

（1）方法概述

北斗机载终端系统的服务重点在于实时显示当前经纬度、速度、方位角信息，由于北斗短报文协议和频度的限制[3]，考虑到通航飞机飞行速度快、位置变化大的因素，机载终端系统最终通过对北斗 RNSS 位置数据和 RDSS 位置数据的互补使用，来满足通航飞机实时性的位置显示要求，并连同实时计算出的对地速度和方位角数据一起显示在机载 GIS 电子地理信息系统平台上。机载终端系统基本架构如图 5 所示。

（2）数据处理

北斗机载终端系统数据处理流程和北斗地面监视中心系统的数据处理类似，不同之处在于：（1）需要在当前未进行北斗 RDSS 位置申请时，实时处理北斗 RNSS 位置数据，及时在 GIS 上显示通航飞机的 ID、经度、纬度、高程、高程异常、对地速度、方位角等数据，其中机载设备上北斗短报文卡的 ID 号已唯一与该通航飞机绑定；（2）不同于地面监视中心环境的稳定性，通航飞机在作业飞行过程中，环境变化快，极有可能飞行在恶劣气候区或具有山脉等地形复杂地区，因此，北斗机载终端系统必须以高频率刷新显示当前信号功率强度。建议信号更新频率不低于 2s/ 次。

（3）系统实现

北斗机载终端系统核心是提供位置报告和作业指令报告服务。位置报告有两种方法：

（a）采用北斗短报文自带的“定位申请”短报文指令，在获得通航飞机位置信息的时候，北斗卫星会同时向地面监视中心系统发送一份飞机的当前位置信息。优点是数据收发稳定，且卫星可以自动播发 RDSS 位置信息给地面监视中心。但是其中的位置信息仅含经度、纬度、高程和高程异常，缺少飞机当前速度、方位角、飞机姿态和任务状态等重要数据，而且此功能灵活性差，无法满足邻机位置互报的服务需要。

（b）为了改进北斗短报文固有的位置报告功能不足之处，通航监视系统必须设计出一套实用的位置报告协议，建议信息内容包括：位置报告标志位 16bit、位置（经纬度指示 4bit、经度 32bit、纬度 32bit）、高程 16bit、高程异常 16bit、空中速度 16bit、方位角信息 16bit、飞行状态 16bit、时间 32bit，总共占用 196bit，其余可做预留位。这样既充分利用了短报文通信服务长度，又能满足通航监视对更丰富数据的实际需要。需要注意的问题是，当前设计的位置信息是在北斗机载终端系统自动编码生成短报文后，以“通信申请”的形式发送出去。必然会占用当前的服务频度，因此它的位置信息需要从北斗 RNSS 中实时提取，在用户确定所要发送的目标 ID 和飞行姿态等数据后编码发送出去，北斗卫星会将此短报文信息发送给指定收信方。收信方在解析到此通信信息的位置报告标志位后，会按照提前设计好的位置报告协议进行解析，并及时完成对 GIS 界面上的通航飞机显示更新和系统数据库更新。位置转发实现如图 6 所示。

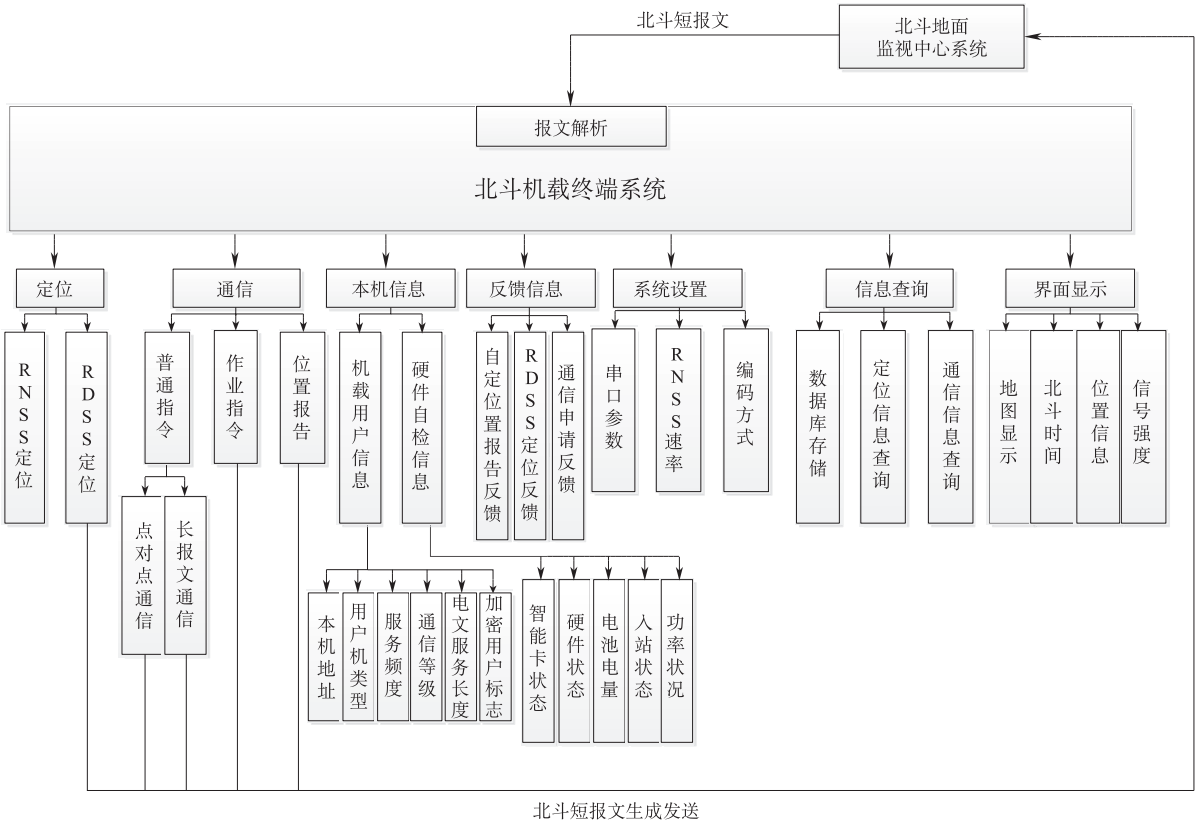

图 5 北斗机载终端系统基本架构

Fig.5 The basic architecture of BDS airborne terminal system

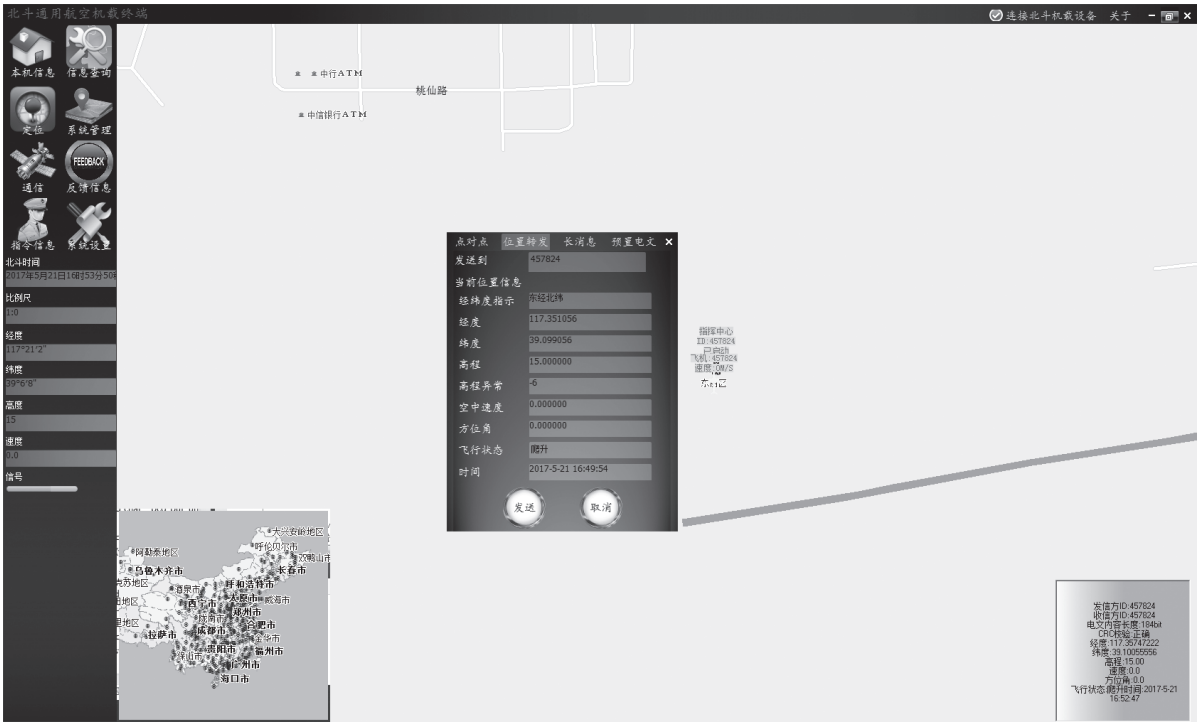

图 6 北斗机载终端系统位置转发实现

Fig.6 The realization of BDS airborne terminal system for position forwarding

北斗机载终端系统的作业指令就是将通航飞机当前正在进行的作业状态及时、准确地通过北斗短报文报告给地面中心系统。

2 北斗 RDSS 性能测试

北斗 RDSS 性能测试结果可以为本监视系统稳定性提供数据依据。考虑到两个子系统应用环境的差异性，分别进行了 RDSS 性能独立测试。

(1) 北斗地面监视中心系统 RDSS 性能测试

通常北斗地面监视中心系统的使用位置很少会移动，因此只需在设备首次安装时，对当前安装环境下北斗 RDSS 性能进行测试。测试以北斗短报文定位发送接收成功率和北斗短报文通信发送接收成功率为指标，进行短报文定位和通信交替测试。因此，为了减少其他因素对北斗地面监视中心系统设备的影响，短报文消息的接收方 ID 设备为本机，当前使用的北斗卡服务频度为 50s，为了减少人为编程效率的影响，设置 51s 为测试间隔。

测试位置选择中低纬度地区，地点选择天津。测试时需要对当前信号波束功率进行 1 次 /s 的检测，统计当前测试环境信号强度。实际使用的“北斗卫星指挥型用户机”设备可接收 1#~6# 波束的信号功率 (dBW)，每波束的信号功率范围分为 0~5 挡，其中 0 挡为失锁状态，所以波束信号功率的满值档位总和为 24。

通信测试内容为：“北斗模块通信测试 [混发模式]-!@#$%^&* ( ) ~1234567890_ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ.”。所有数据均存入 Microsoft SQL Server 2008 R2 数据库以备分析。测试日期为 2017-11-24 19 : 09 : 49~2017-12-04 15 : 45 : 42，测试结果见表 1。

表 1 北斗地面设备 RDSS 性能测试结果

Table 1 The test results of BDS ground equipment for RDSS performance

测试位置	天津					
信号范围	12~18					
测试时长	110h18min					
测试类型	发送数	接收数	成功率	丢包数	误码数	误码率
定位	8280	8201	99.05%	79	0	0%
测试类型	发送数	接收数	成功率	丢包数	误码数	误码率
通信	8279	8224	99.34%	55	0	0%

测试结果表明，当前北斗地面监视中心系统设备安装环境信号良好且波动小，RDSS 性能良好，可以满足通航监视的稳定运行。其他研究人员相关研究表明：不同纬度区域对北斗 RDSS 成功率无明显影响[4]，因此，该纬度下测试得到的结果具有说服力。

(2) 北斗机载终端系统 RDSS 性能测试

因试验条件有限，北斗机载终端系统设备的 RDSS 性能测试是在汽车上进行的。测试路线以高速为主，以尽可能地获取真实的信号环境。

测试以北斗短报文定位发送接收成功率和北斗短报文通信发送接收成功率为指标，进行短报文定位和通信混合测试，结果见表 2。

表 2 北斗机载终端 RDSS 性能测试结果

Table 2 The test results of BDS airborne terminal equipment for RDSS performance

测试位置	西北地区					
信号范围	3~23		平均信号		10.91	
测试时长	297h18min					
测试类型	发送数	接收数	成功率	丢包数	误码数	误码率
定位	5519	5430	98.39%	89	0	0%
测试类型	发送数	接收数	成功率	丢包数	误码数	误码率
通信	5519	5426	98.31%	93	0	0%

其中，北斗卡测试频度为 60s，机载设备 ID：309817 进行北斗短报文通信测试，机载设备 ID：309818 进行北斗短报文位置报告测试。接收方为地面监视中心系统，ID 为 456017。

测试结果表明，北斗短报文在我国西北地区测试的 13 天内，均可为通航监视服务提供稳定地支持。测试过程中北斗 RDSS 位置报告和通信报告成功率高，性能稳定，监视交通工具运动姿态准确，通信指令收发及时，充分体现了北斗 RDSS 在通航监视上的优越性。

在测试过程中，出现短报文丢包的原因均是由于行驶在有高楼、树木或者山脉遮挡的路段所致。报文发送接收时，由于汽车当前位置的北斗卫星信号微弱导致北斗短报文无法正常接收或者发出。

3 结论

本文详细阐述了北斗 RDSS 在通用航空监视上的系统设计与实现。分别从基本架构、底层数据处理、上层应用实现方面介绍了北斗地面监视中心系统和北斗机载终端系统两个子系统，表明了系统实现的可行性。随后经过定点分析、实际跑车试验对北斗 RDSS 服务性能进行数据采集和监

视系统测试。具体测试结果如下：

（1）北斗 RDSS 位置报告和通信报告性能明显受北斗卫星信号强度影响。

（2）在测试地区无遮挡的地面上，北斗卫星平均波束信号强度大于 10，在此基础上的北斗 RDSS 位置报告和通信报告成功率不低于 98.31%，能稳定满足通航监视服务需求。

（3）大量的实际测试验证了该监视系统的可靠性。考虑到通航飞行和跑车测试高度的差距，北斗 RDSS 在实际通用航空飞行监视上的服务性能应更优，证明了监视服务的可行性和可靠性。

参考文献

[1] 康永，周建民 . 通用航空发展现状、趋势和对策分析 [J]. 现代导航，2012，3（5）：360–367.
Kang Yong，Zhou Jianmin. Analysis on development status，trend and countermeasure of general aviation[J]. Modern Navigation，2012，3（5）：360–367.（in Chinese）

[2] 殷浩远 . 基于北斗的通用航空指挥监控系统 [D]. 天津：中国民航大学，2016.
Yin Haoyuan. General aviation command and surveillance system based on BDS[D]. Tianjin：Civil Aviation University of China，2016.（in Chinese）

[3] 颜晓星，车明，高小娟 . 基于北斗卫星的可靠远程通信系统设计 [J]. 计算机工程，2017，43（3）：62–68.
Yan Xiaoxing，Che Ming，Gao Xiaojuan. Design of reliable remote communication system based on Beidou satellite[J]. Computer Engineering，2017，43（3）：62–68.（in Chinese）

[4] 张兴俭，王振华，赵嶷飞，等 . 北斗 RDSS 通航监视服务性能测试研究 [J]. 中国民航大学学报，2017，35（3）：1–5.
Zhang Xingjian，Wang Zhenhua，Zhao Yifei，et al. Study on service performance test of Beidou RDSS in general aviation surveillance[J]. Journal of Civil Aviation University of China，2017，35（3）：1–5.（in Chinese）

（责任编辑　杨晓彤）

作者简介

朱一龙（1995－ ）男，硕士。主要研究方向：导航新技术与应用。

Tel：13212101736

E-mail：2425070771@qq.com

Design and Implementation of General Aviation Surveillance System Based on BDS RDSS

Zhu Yilong*，Liu Ruihua，Wang Jian，Zhai Xian

School of Electronic Information and Automation，Civil Aviation Vniversity of China，Tianjin 300300，China

Abstract: This paper presented a design and implementation of a general aviation surveillance system based on BDS RDSS. The system used the precise positioning and short message technology of BDS to realize the command and monitoring of the navigable aircraft. First of all，the overall design of the surveillance system was designed. It was divided into two sub-systems，BDS ground surveillance center system and BDS airborne termination system. Then encoded the data of positioning information and communication information，finally realizd the system running on GIS. The results demonstrate the availability of compass RDSS for navigation surveillance services.

Key Words: BDS RDSS application；general aviation；surveillance system；BDS short-message

Received: 2017–12–06;　**Revised:** 2018–01–08;　**Accepted:** 2018–01–10

Foundation item: Research on the Technical Standards and Application of Beidou Airborne Equipment Project（AADSA0007）；Wide Area Aviation Safety Monitoring Technology and Application Project（2016YFB0502402）

***Corresponding author.Tel.:** 13212101736　**E-mail:** 2425070771@qq.com