

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2107483

# 一种双 VDB 台站 GBAS 系统的飞行校验方法\*

李小强<sup>1</sup> 王永超<sup>2</sup>

(北京天华航宇科技有限公司 北京 100191; 2. 民航数据通信有限责任公司 北京 100083)

**摘要:** 卫星导航地基增强系统是一种旨在代替传统仪表着陆系统的终端区进近引导设施,安装一套设备即可为机场的多条跑道提供进近引导服务。对于一些大型机场,通常会在地面安装两个 VDB 发射台以增大其覆盖范围,但是传统的飞行校验不能区分信号是哪个台站发出的,因此在多个台站的情况下无法评估各台站的覆盖性能。针对这一问题,提出了一种基于 EVSF1000 设备的多时隙数据分析方法,通过对 VDB 信号的 8 个时隙数据进行解析和数据处理,从而实现在一次飞行中完成对两个地面台站 VDB 信号和数据的评估,从而满足了双 VDB 台站配置系统的飞行校验需求。所提出的方法在天津滨海机场的 GBAS 校验飞行测试中得到验证,可成功实现对双 VDB 台站的检查评估。

**关键词:** 卫星导航地基增强系统;最后进近段;飞行校验;信号覆盖

**中图分类号:** TN965.5 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5

## A flight inspection method for GBAS dual VDB station

Li Xiaoqiang<sup>1</sup> Wang Yongchao<sup>2</sup>

(1. Beijing Sky Aviation Co., Ltd., Beijing 100191, China; 2. Aviation Data Communication Corporation, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Ground based augmentation system (GBAS) is a terminal area approach guidance facility designed to replace the traditional instrument landing system (ILS). One set of equipment can provide approach guidance service for multiple runways of the airport. For some large airports, two VDB transmitters are usually installed on the ground to increase system coverage. However, traditional flight inspection cannot identify which station emits the signal from the reception, which causes failure of station coverage evaluation. This paper proposes a multiple slot data analysis method based on EVSF1000 unit, which can analyze and evaluate the VDB signals of multiple ground stations in one flight by decoding and parsing data from 8 VDB time slots, to achieve the flight verification requirements of GBAS system with dual VDB stations. The method is verified in an GBAS inspection flight which completed the inspection of dual VDB stations installed in Tianjin Binhai Airport.

**Keywords:** ground based augmentation system; final approach segment; flight inspection; signal coverage

## 0 引言

卫星导航地面增强系统(ground based augmented system, GBAS)是一种以差分定位技术为基础的飞机着陆引导设备<sup>[1]</sup>。机场安装一套 GBAS 设备即可支持多条跑道多个进近方向的引导需求。相比于传统的仪表着陆系统(instrument landing system, ILS),GBAS 有更高的运行效率,因此逐渐得到迅速发展<sup>[2]</sup>。飞行校验是指为保证飞行安全,使用装有专门校验设备的校验飞机,按照飞行校验的有关规范,检查和评估各种导航、雷达、通信等设备的空间信号的质量及其容限,以及机场的进、离港飞行程序,并依据检查和评估的结果出具飞行校验报告的过程<sup>[3]</sup>。按照国

际民航组织规定,应定期对 GBAS 开展飞行校验,而其中甚高频数据广播(very high frequency data broadcast, VDB)台站的信号覆盖分析是系统评估检查的重点<sup>[4]</sup>。

GBAS 系统通常在地面安装一个 VDB 信号发射台站,用于广播差分修正数及 FAS 等数据。为了增加 GBAS 信号覆盖,大型机场往往会在地面增加一个 VDB 发射台站,通常两个地面 VDB 发射台站会分配不同的发射时隙进行广播数据。

对多个 VDB 发射台进行校验,在国际飞行校验领域内被认为是一件具有挑战性的工作<sup>[5]</sup>。现有的 GBAS 飞行校验系统使用的 GNU930/925 多模接收机只有一个信号强度值,无法区分各个地面 VDB 台站的信号强度。对于有两

收稿日期:2021-08-04

\* 基金项目:国家重点研发计划(2017YFB0503404)项目资助

个 VDB 发射台站的 GBAS 系统,目前的校验方法有两种,方法 1:只评估 GBAS 系统的总体覆盖情况,即两个 VDB 发射台合成的空中信号;方法 2:通过关闭其中一个台站的方式,对另一个台站的覆盖进行评估。其中方法 1 可以评估 GBAS 的覆盖,但是无法针对单个台站给出其作用范围,并给出具有指导价值的调整建议;方法 2 非常耗时,如果要得到两个台站的覆盖及总体系统的覆盖则需要进行 3 次的重复飞行,使得校验成本增加了 2 倍。两种方法均存在明显劣势。

而本文所提出的校验方法,利用 EVSF1000 机载接收设备通过 GPS PPS 脉冲与地面 GBAS 系统进行时间同步,并根据接收 VDB 数据的不同时隙区分不同的地面发射台站,从而可以对地面不同台站各自的覆盖情况进行评估分析。另外,通过对 VDB 数据包中 CRC 校验的检查和统计可以得到 VDB 广播数据包有效性分析结果。

## 1 GBAS 飞行校验评估要求

根据国际民航组织规定,GBAS 作为着陆引导的导航设备应进行投产及定期飞行校验 GBAS 主要飞行校验内容如表 1 所示。其中 VDB 信号覆盖是飞行校验评估的重点,其他参数包括 VDB 数据包中的 Type4 (FAS 数据)、Type2 数据、CRC 校验以及 RFI 无线电干扰等内容。Type2 类型消息为地面台站信息帧,主要包含地面台站坐标、运行状态、最大服务范围等参数;Type4 类型消息为 FAS 数据信息帧,主要包含跑道出入口坐标、下滑角、入口高度等参数,本文主要涉及 VDB 覆盖评估以及 VDB 广播数据有效性检查。

表 1 飞行校验内容

校验项目	校验类型
VDB 覆盖	投产/定期
最后进近段 FAS 数据	投产
FAS 告警限制	投产/定期
FAS 数据 CRC	投产/定期
VDB 广播数据	投产/定期
RFI	投产/定期

## 2 GBAS 数据解析与采集

### 2.1 GBAS 时隙分配

GBAS 系统采用 TDMA 时分复用技术,将 VDB 广播数据分配到不同的时隙中进行分发。GBAS 的时隙分配为:每一个帧为 500 ms,每一秒发送两帧数据。每一个帧被分成 8 个时隙(A-H 时隙),每个时隙对应 62.5 ms,最多可传输 1 776 bit 数据。地面台站将要发送的差分修正数、地面站信息、最后进近段数据等参数编码组帧,并按照不同的时隙进行广播<sup>[6]</sup>。

### 2.2 VDB 数据解析

本文采用 EVSF1000 机载 GBAS VDB 信号接收设备,对 GBAS VDB 广播信号进行分析处理。为了与地面 GBAS 台站进行时间同步,将 GPS 接收机 PPS 脉冲信号作为外部时钟触发接入到 EVSF1000 导航接收机中。同时将机载 VDB 天线连接至 EVSF1000 通道 1 的射频输入端口。

EVSF1000 机载接收机可通过 VDB 天线接收 VDB 信号,并解调出 VDB 中的数据包。飞行校验软件通过网口从 EVSF1000 中获取 VDB 数据包,并依据图 1 所示的流程对收到的数据包进行解析。

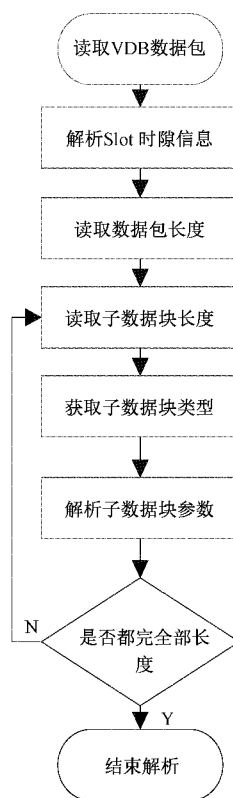


图 1 VDB 数据解析

如图 1 所示,VDB 数据解析流程如下:首先从 EVSF1000 网络端口读取二进制格式的 VDB 数据包,然后从第 63 bit 开始读取 3 bit 即为当前数据时隙信息;然后从第 66 bit 开始读取 17 bit 即为当前数据包的总长度;根据 DO-246D GBAS 接口文档可知,数据包的前 88 bit 为训练序列;然后读取 6 Byte 的消息头,并从中读取到子数据块的长度,依据此长度从原数据包中截取出该子数据包,并且依据数据包中的消息类型对该子数据包进行解析;循环读取子数据包,直到整包数据被解析完成<sup>[7]</sup>。

如表 2 所示为 GBAS 数据子帧的消息头格式,数据解析程序依据该格式对 VDB 数据包进行参数获取和解析。依据消息类型及消息长度,按照报文接口定义,从数据包中解析数对应类型的消息电文<sup>[8]</sup>。

表 2 数据子帧消息头

消息内容	比特数	字节数
消息块识别	8	1
GBAS 识别	24	3
消息类型	8	1
消息长度	8	1

2.3 CRC 数据校验

为了保证 VDB 广播数据包(如 Type2、Type4)数据的有效性和完整性,32 位 CRC 校验码会被添加到所传输的数据包后面<sup>[9]</sup>。接收端接收到数据包之后对其中的关键数据段利用与发送端相同的生成多项式进行 CRC 运算,得到的 CRC 与数据包中的 CRC 进行比较,如果二者不一致则说明关键数据在传输过程中发生了误码,数据不可信应当丢弃。对于 Type2、Type4 电文,其 CRC 校验多项式如式(1)所示,其对应的颠倒后生成项为 0xD5828281。

$$G(x) = x^{32} + x^{31} + x^{24} + x^{22} + x^{16} + x^{14} + x^8 + x^7 + x^5 + x^3 + x + 1 \quad (1)$$

3 VDB 覆盖范围评估

VDB 信号的覆盖主要考察在不同的飞行区域及飞行路线上,VDB 信号的有效性状态<sup>[10]</sup>。在飞行校验科目的过程中记录接收到的 VDB 信号强度,并且统计在此覆盖范围内信号强度的最小值,考察最小值是否满足校验规范要求。对于 VDB 信号质量的评估需按照如下 4 个飞行科目进行。

3.1 飞行校验科目

1) 进近飞行科目

飞行校验方法:如图 2 所示,针对每一个 GBAS 支持的进近程序,按照进近程序飞行。除实施正常进近之外,还应当进行左右上下偏置飞行:即在 HSI 仪表指示器上,保持航道左偏/右偏 75 μA(即指示器上一格)进行左右偏置飞行;或者保持下滑道上偏/下偏 75 μA(即指示器上一格)进行上下偏置飞行。

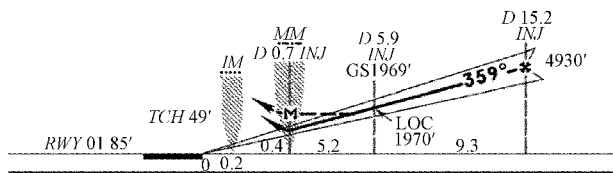


图 2 进近飞行科目

在进近过程中,分别评估地面两个台站的信号强度最大值及最小值。同时按照 ICAO 标准要求,检查 FAS 数据接收状态。在最后进近航段,FAS 数据不允许有数据丢失情况,否则视为不合格。

2) 圆周飞行科目

飞行方法:如图 3 所示,GBAS 覆盖将通过在支持终端和进近程序所需的最大距离(DMax)处进行圆周飞行,应以 GBAS 地面参考接收机的几何中心为圆心,通常半径

23 NM。在投产校验时需要检查两个圆周,顺时针和逆时针各一圈,高度分别为 1 500 m 和 3 000 m;定期校验时需要检查一个圆周,高度 3 000 m;针对地面为双 VDB 台站的情况,可以以两个台站直线距离的中间点作为圆心,以台站 DMax 距离为半径进行圆周飞行,考察在此圆周飞行过程中,两个台站各自的覆盖情况。

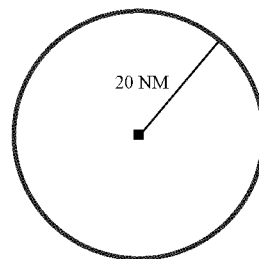


图 3 圆周飞行科目

3) 圆弧飞行科目

如图 4 所示,以 LTP/FTP 为圆心,高度以场高 600 m、GBAS 下滑道截获高度、中间进近、最后进近阶段保护区内最高障碍物以上 300 m 中最高者为准,半径 15 NM,左右 35°圆弧,半径 20 NM,左右 10°圆弧,检查进近方向 VDB 信号的侧向覆盖、类 ILS 航向的准确性和可用性。

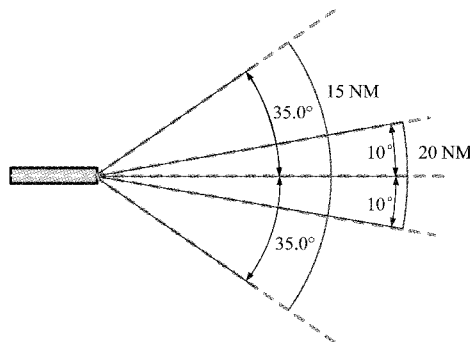


图 4 圆弧飞行科目

4) 地面滑行飞行科目

如图 5 所示,GBAS 地面滑行科目需要校验飞机在跑道上进行滑行试验以验证 GBAS 地面站在跑道面上的覆盖情况,包括如下两项内容:(1)跑道中心线往返滑行测试:验证信号接收是否正常,测试地面站提供的机场数据是否准确;(2)沿跑道中心线做 S 形滑行:验证跑道场面的 VDB 信号覆盖,仪表输出航向偏置。

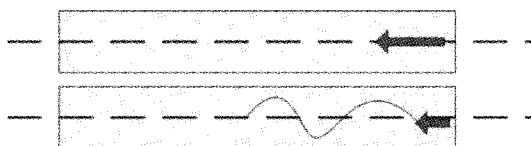


图 5 地面滑行科目

3.2 VDB 覆盖范围评估

在 2.2 节中介绍了从接收机解析不同时隙的信号强度

值,在飞行校验科目的过程中记录接收到的 VDB 信号强度,并且统计在该覆盖范围内信号强度的最小值。

对于双 VDB 台的 GBAS 系统,可依据台站独占的时隙信号强度来评估各个台站的覆盖情况,对于 GBAS 总体系统,应当利用各个时隙信号强度的最大值来表征 GBAS 的 VDB 覆盖情况。

另外,在进近科目时应当对 GBAS 信号的极化情况进行检查:一般在距离入口 5~10 nm 处飞机做±30°的滚转机动,校验系统记录在滚转前的信号强度和在滚转角最大位置处信号强度的差异,以此差异作为 VDB 信号的极化评估结果<sup>[11]</sup>。由于 GBAS VDB 天线是水平极化或者椭圆极化,滚转时可以得到该 VDB 天线的垂直信号分量。该极化参数值应当满足国际标准要求的容限,否则视为超限<sup>[12]</sup>。

#### 4 飞行测试验证

本文研究的 GBAS 飞行校验方法在天津滨海机场进行了实际测试飞行验证<sup>[13]</sup>。此次测试校验飞行利用 CFIS-II 飞行校验系统(采用 MMR 925 以及 EVSF1000 作为 GBAS 校验接收设备),在机场基准测绘点架设 RTK 地面站为飞行校验系统提供高精度的时空基准。天津滨海机场安装了 GBAS 系统,且为了增加 GBAS 信号的覆盖范围,专门安装了两个地面 VDB 发射台站,可为机场的两条跑道 4 个进近方向提供引导服务。VDB 信号发射频率为 116.75 MHz,设计覆盖范围为 42 km,在时隙分配上, #1 台站分配了 A 和 E 时隙, #2 台站分配了 G 和 H 时隙。

本次测试飞行按照飞行测试科目分别进行了地面跑道滑行科目、20 海里半径的圆周飞行科目、7 海里半径的圆弧科目,以及包含上下左右偏置的进近科目。并在飞行测试过程中对定位基准信号及 GBAS 数据进行获取及数据分析,飞行测试验证结果分析如下。

##### 1) 不同时隙的 AGC 信号强度特性

如图 6 所示为 A 时隙的信号强度分布图,由于 A 时隙分别由地面 #1 台站和 #2 台站交替占用,故接收到的 A 时隙的信号强度图为上下来回摆动的状态。

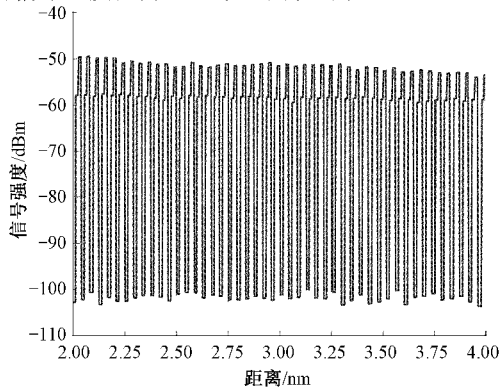


图 6 A 时隙信号强度图

如图 7 所示为圆周科目时的 E 时隙和 G 时隙信号强度分布图,由于 E 时隙由 #1 台站独占,G 时隙由 #2 台站独占,故该图也代表了 #1 台站与 #2 台站的发射信号强度在空间中的分布。

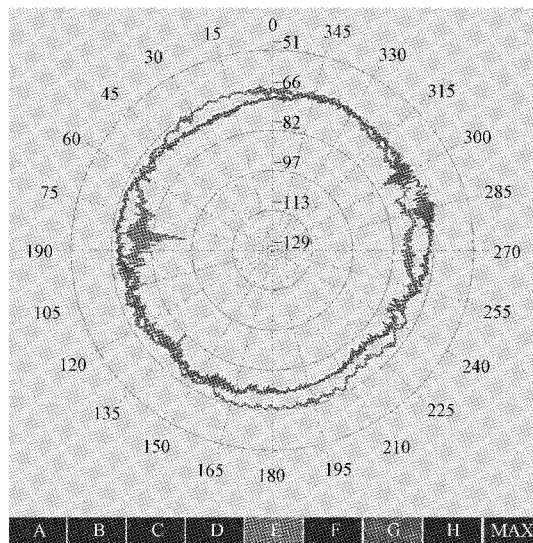
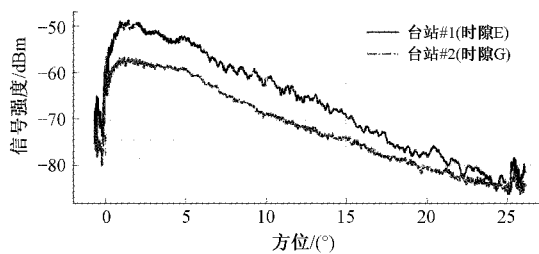


图 7 E、G 时隙信号强度图

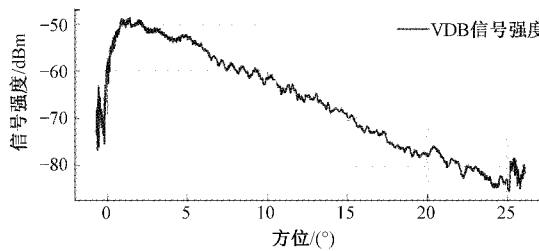
##### 2) 进近科目信号强度分析

如图 8(a)所示为进近科目中, #1 台站(用 E 时隙的 AGC 信号强度表征)、#2 台站(用 G 时隙的 AGC 信号强度表征)的信号强度分布图,由图中可以看出,在 #34 跑道的进近方向上, #1 台站的信号强度强于 #2 台站的信号强度,这是由于 #1 台站安装在 #34 号跑道入口附近,而 #2 台站安装在 #34 号跑道的出口附近。依据分台站的信号强度分布图,可以对两个台站各自的信号覆盖进行评估。

图 8(b)所示为由两个台站合成的 VDB 信号的分布



(a) 分台站信号强度图



(b) 双台站合成信号强度图

图 8 进近科目信号强度

图,可以看出合成的 VDB 信号相比于两个分台站信号强度更强,且满足信号强度要求。依据合成的 VDB 信号强度图可以对 GBAS 系统整体的 VDB 覆盖情况进行评估。

另外,在进近过程中,在距离入口约 8 nm 处实施了横滚角为 $\pm 30^\circ$ 的极化测试,而在信号强度上没有明显变化,说明 GBAS 台站信号辐射的垂直分量较少,符合标准对极化的要求。

### 3) 圆周科目信号强度分析

如图 9(a)所示为圆周科目中, #1 台站、#2 台站的信号强度分布图,由图中可以看出,在相对于入口  $120^\circ \sim 220^\circ$  方位上, #2 台站的覆盖较强,而在相对于入口  $275^\circ$  方位附近区域, #1 台站由于地形遮挡等原因信号急剧恶化且低于信号强度要求,在此区域内的系统信号覆盖主要由 #2 台站提供,如果 #2 台站工作不正常时,系统在该方位上无法提供足够的信号强度无法支持系统的正常运行。

图 9(b)为圆周科目中两个台站合成的信号强度的分布图,尽管 #1 台站在部分区域,信号强度弱于标准要求,但由于有 #2 台站的较强信号覆盖从而保证了整体 VDB 信号在整个  $360^\circ$  圆周范围内信号强度都满足标准要求。由此也体现了双 VDB 台站 GBAS 相比于单 VDB 台站 GBAS 在 VDB 信号覆盖范围上的优势<sup>[14]</sup>。

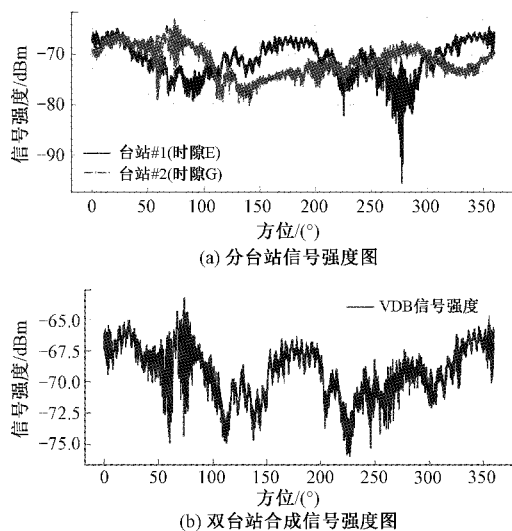


图 9 圆周科目信号强度

### 4) 圆弧科目信号强度分析

如图 10(a)所示为圆弧科目中, #1 台站、#2 台站的信号强度分布图,图 10(b)为双台站合成的 VDB 信号强度的分布图。横轴为相对于入口的方位角。最小信号强度在其整个科目飞行范围内符合最低信号强度的要求。

### 5) 跑道滑行科目信号强度分析

如图 11(a)所示为跑道滑行科目中, #1 台站、#2 台站的信号强度分布图,图 11(b)为双台站合成的 VDB 信号强度分布图。横轴为相距离入口的距离。从图中可以看出,由于两个台站分布在跑道两端,在距离入口 1 000 m 以

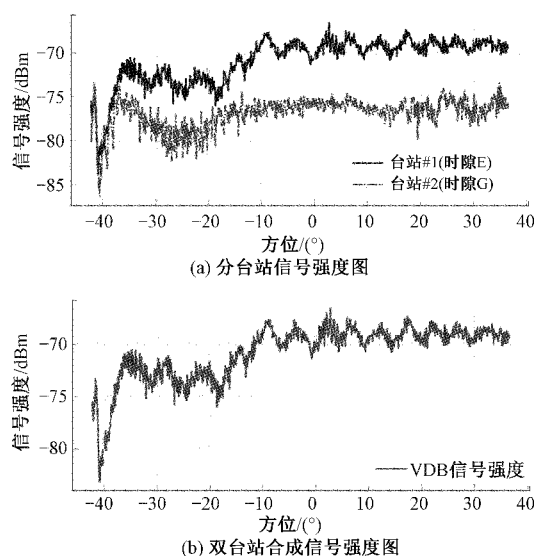


图 10 圆弧科目信号强度

内 #1 台站信号强度明显强于 #2 台站;在距离入口 1 000 ~ 2 400 m 范围内,两个台站信号强度相当;在距离入口 2 400 m 以后, #2 台站的信号强度明显强于 #1 台站。

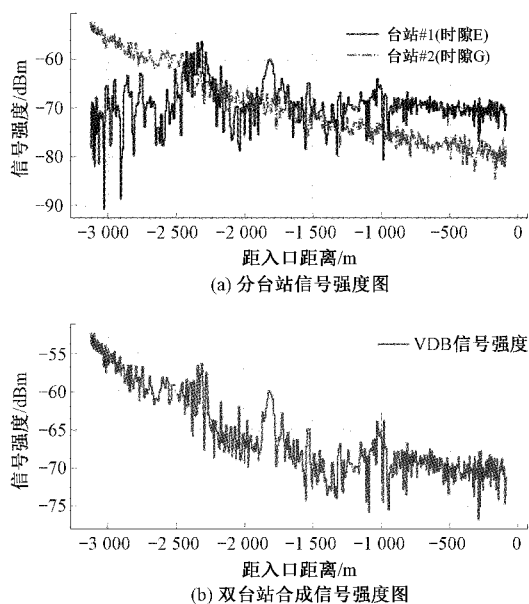


图 11 跑道滑行科目信号强度

另外,可以看出在跑道场面滑行过程中, #2 台站信号比较平稳波动较小,而 #1 台站信号抖动较大,通常这种信号抖动与信号传播过程中的建筑物引起的多径信号有关。总体 VDB 信号在场面滑行过程中,信号强度都大于  $-75$  dBm,单台站的信号强度有低于  $-80$  dBm 的情况发生。由此可见,双 VDB 台站可以有效提高 GBAS 系统在跑道面上的信号覆盖<sup>[15]</sup>。

### 6) VDB 数据包有效性评估

如表 3 所示为进近科目中, VDB 数据包的数据统计,

对接收到的每个数据包(主要针对 Type2 和 Type4 电文数据包)进行 CRC 校验码计算,并将其与接收到的 CRC 进行对比,通过 CRC 有效包数与总包数的比率可以得到有效率。

表 3 VDB 数据包有效性统计

消息类型	总包数	CRC 有效包数	有效率/%
电文类型 2	458	458	100.0
电文类型 4	1 078	894	82.9

## 5 结 论

本文提出的针对两个(或多个)地面 VDB 台站 GBAS 系统的飞行校验新方法,充分利用了 GBAS 系统分时隙发送的特性,通过分析 GBAS 不同时隙中的 VDB 信号强度,可得到该时隙对应的地面 VDB 发射台站的空间信号分布。通过一次校验飞行即可得到两个(或多个)VDB 台站的空间信号及其合成的 GBAS 系统的空间信号,并对不同台站的 VDB 覆盖及合成的 GBAS 空间信号的覆盖进行校验评估,针对各个台站给出校验调整建议。通过对天津机场实际飞行测试数据的分析,可以看出此种方法对于双 VDB 台 GBAS 系统的飞行校验的有效性。与传统方法相比,本文提出的校验方法,在给出 GBAS 系统 VDB 覆盖的同时可以给出各个台站的 VDB 覆盖情况更加具有指导意义,同时本方法通过一次飞行得到两个(或多个)分台站及合成信号的覆盖,将传统方法的校验时间缩短了 2/3,极大地提高了飞行校验效率。随着 GBAS 系统的不断发展,本方法可在未来广泛应用于 GBAS 系统的飞行校验。

## 参考文献

- [1] 支春阳,邢兆栋,赵精博,等.一种改进的 GBAS 地面站 MRCC 故障检测算法[J].电子测量技术,2017,40(8):125-129.
- [2] 朱衍波,张晓林,薛瑞,等.民航 GPS 地基区域完好性监视系统设计与实现[J].北京航空航天大学学报,2006,32(7):797-801.
- [3] 杨立钊.GBAS 技术特征及在民航的运用分析[J].电子元件及信息技术,2021,5(3):90-91.
- [4] 程松.Ⅲ类 GBAS 发展现状和趋势[J].电子技术与软件工程,2019(12):127-128.
- [5] MIKE S.Challenges with GBAS VDB flight inspection[C].20<sup>th</sup>International Flight Inspection Symposium,2018:25-31.
- [6] GERBETH D,CAAMANO M,CIRCIU M S, et al. Satellite selection in the context of an operational GBAS [J]. Navigation: Journal of the Institute of Navigation,2019,66(1):227-238.
- [7] 程松,李昱.基于 GAST-D 的 GBAS VDB 电文播发格式研究[J].广东通信技术,2019,39(6):75-79.
- [8] YOO M,KIM D,PULLEN S, et al. Assessment and mitigation of equatorial plasma bubble impacts on category I GBAS operations in the Brazilian region[J]. Navigation: Journal of the Institute of Navigation,2019,66(3):643-659.
- [9] 郑金华,程松,王岸石.基于 GPS 单频的Ⅲ类 GBAS 技术研究[J].导航技术,2020,11(1):1-8.
- [10] 刘未科,史晓锋,王成林,等.基于单片机的飞行校验中导航信号的模拟实现[J].电子测量技术,2012,35(6):88-92.
- [11] YUN Y,CHO J,HEO M B, et al. GBAS reference receiver clock adjustment effects on continuity and integrity performance [J]. IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems,2013,49(4):2296-2309.
- [12] 杜柏霖,林国钧,蔡德胜.GNSS\_INS 组合导航在飞行校验系统中的应用[J].电子测量技术,2011,34(9):1-4,17.
- [13] 刘立盛,刘靖.塔康导航系统地面专用检测设备校准方法研究[J].国外电子测量技术,2012,31(7):15-19.
- [14] 孟宪岭.对推进飞行校验领域治理体系和治理能力现代化的思考[J].民航管理,2020(6):18-21.
- [15] 张也.论 GBAS 技术在中国民航的应用[J].数字技术与应用,2019(9):63-65,67.

## 作者简介

李小强,软件工程师,主要从事飞行校验算法研究及飞行校验系统实现。

E-mail:xqli552@163.com

王永超,高级工程师,主要研究方向为航空通信、导航及监视飞行测试技术。

E-mail:wangyongchao@vip.163.com