

一种基于 ADS_B 技术的监视雷达系统精度分析方法

肖 杰¹
XIAO Jie

摘 要 针对监视雷达和广播式自动相关监视 (ADS_B) 系统的特点, 文章提出一种基于 ADS_B 技术的监视雷达系统精度分析的方法。通过将监视雷达系统的航迹点迹信息同 ADS_B 数据进行匹配, 然后对匹配成功的航迹计算其与真值之间的误差, 最后通过分析误差结果得到系统精度。数据分析表明, 所提算法能够快速准确地计算出雷达系统误差, 具有可行性和有效性, 为雷达系统精度分析提供了新方法支撑。

关键词 ADS_B; 系统精度; 系统误差; 雷达系统; 数据分析

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2026.07.041

0 引言

ADS_B 是广播式自动相关监视, 用于空中交通管制的一种技术, 属于现代监视系统中比较流行的监视新技术。该技术是在飞机或飞行器上安装 ADS_B 设备, 利用 GPS 高精度定位系统的定位信息^[1], 以高频率的速度对外发送一些状态信息参数, 包括位置、身份、高度、速度等状态参数; 然后通过使用专用 ADS-B 地面站接收其他飞机的广播信息^[2], 最后将广播信息传送至空中交通管制员, 方便其掌握周边空域情况。ADS_B 技术具有数据丰富、更新速度快、成本低、部署方便等优势, 有效利用 ADS_B 数据对航迹测量进行精度分析和系统标校。

本文针对 ADS_B 技术的特点及监视雷达特点, 提出了一种针对监视雷达的基于 ADS_B 技术的监视雷达系统精度分析方法, 给出了精度分析的过程, 最后进行数据仿真分析。最终仿真结果得到的测量误差可以很好地指导雷达总师对雷达性能进行评估, 对雷达性能改进有帮助。

1 监视雷达系统精度分析方法

雷达探测目标时会有两种误差的存在, 分别是系统固有的误差和随机产生的误差。系统固有的误差即系统误差, 系统误差是系统设备的确定性误差, 是因为探测环境、伺服系统、天线等各种因素产生的^[3-4]。随机产生的误差即随机误差, 随机误差是指可以通过各种滤波方法消除目标随机运动产生的误差和随机测量噪声的误差。系统误差的存在会使得量测数据相对真值数据产生偏差, 该偏差在相当一段时间内是可以看成固定值, 通过将系统误差的估值求出来消除系统固定差。我们对雷达系统精度分析主要是分析距离精度、方位精

度和俯仰精度。通过将雷达探测目标的量测数据和真实目标的数据从斜距、方位和俯仰三个维度计算两者之间的固定误差^[5-6]。分析雷达探测系统精度的详细分析过程如图 1 所示。本文介绍的针对监视雷达探测系统的精度分析方法是利用精度较高的 ADS-B 真值数据从距离、方位和俯仰三个维度上估算出雷达探测系统在此三个维度上的固定误差, 再对雷达航迹进行误差补偿, 实现误差配准。具体处理流程如图 1 所示。

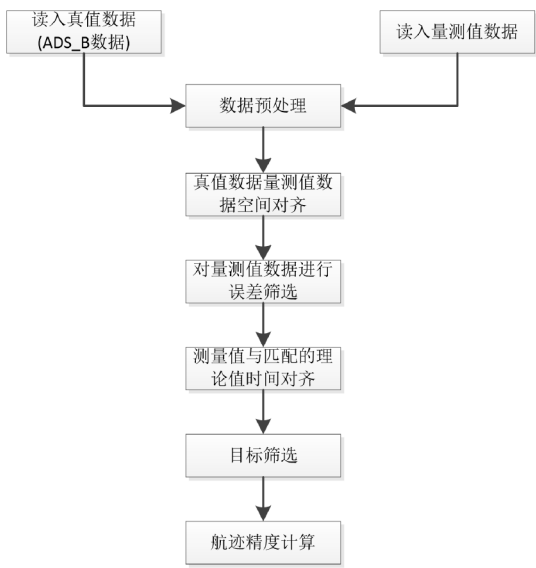


图 1 精度处理过程

2 雷达系统精度分析过程

雷达系统精度分析过程主要包括六个步骤: 分别是数据预处理、空间对齐、数据误差筛选、时间对齐、目标筛选和航迹精度计算。

2.1 数据预处理

在 ADS-B 数据中, 一些真值数据会发生时间跳变, 因

1. 中国电子科技集团公司第三十八研究所 安徽合肥 230088

此将这些发生时间跳变的数据时间修正回去很有必要^[7]。针对修改后的真实数据,筛选出本雷达设备阵面指向的方位的真实数据,为后续查找真值匹配做准备。雷达探测得到的测量数据时间会有延迟,需将延迟时间得出,对测量值修正。

2.2 空间对齐

雷达系统探测到的目标位置与 ADS-B 数据中目标位置是处于不同的坐标系。雷达系统探测到的目标位置是以雷达设备为中心的球坐标系,而 ADS-B 数据中的目标位置是大地坐标系(WGS-84)下的坐标,需要将 ADS-B 数据中的目标位置和雷达系统探测到的目标位置统一到相同的以雷达站为站心的极坐标下。

2.3 数据误差筛选

针对每一批雷达系统测量得到的测量数据,通过距离 R 、方位 A 、俯仰误差 E ,筛选出匹配 ADS-B 得到的真值数据。

2.4 时间对齐

雷达系统录取数据的时间和 ADS-B 设备接收的数据时间不是采用统一的时间基准。

雷达记录的时间是绝对时间,该时间是由雷达系统的 GPS 提供;分析雷达系统误差所用的时间就是以此时间作为基准进行分析的。ADS-B 数据的时间是该设备接收到数据并解析后的时间,与实时时间有延迟^[8]。因此,在分析数据前需要将两者的时间统一到同一时间点上。根据统计分析,两者时间相差大约 0.1 s,将 ADS-B 数据的时间统一减去 0.1 s。

2.5 目标筛选

针对雷达系统的当前航迹,通过遍历 ADS-B 设备的数据查找最匹配的真值。利用航迹进行匹配,可以有效地避免因点迹数据量大,造成计算时间长的弊端。在查找过程中,需要对匹配成功的航迹做筛选,剔除异常值。航迹筛选的步骤如下:

- (1) 利用所有的点迹数据做统计,估算出雷达系统的测距离误差、测方位误差和测俯仰;
- (2) 如果航迹在距离、方位或者俯仰任意一个维度上与真值数据的一次差大于估算的误差,则剔除该值;
- (3) 循环(1)和(2),经过多次循环后可将异常值剔除。

2.6 航迹精度计算

统计经目标筛选后的所有航迹点在方位、俯仰和斜距三个维度上和真值之间的一次差的标准差、均值和均方根误差^[9]。方位、俯仰和斜距的绝对误差的均值是雷达的方位、俯仰和斜距这个维度上的系统差,雷达的系统精度可通过误差的标准差体现,因为误差的标准差是可以衡量数据波动程度,是一种可以判断精度的重要指标。

3 数据仿真分析

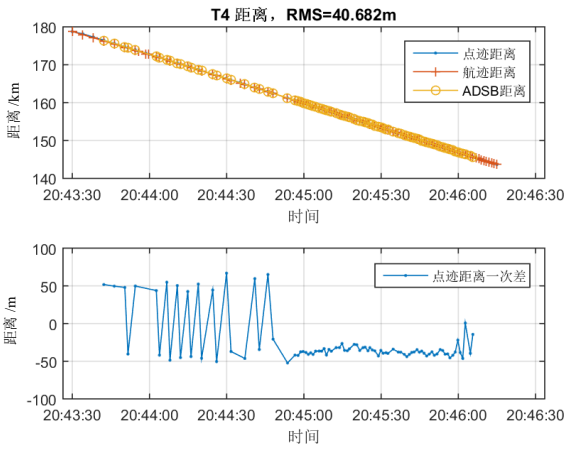
为验证本文所提算法的有效性,本小节对实验数据分析其精度。实验数据来源是某设备的雷达发射探测民航飞机所采集的数据。该试验是对民航飞机进行探测,采用民航飞机的 ADS-B 数据作为真值。雷达测量值与民航飞机 ADS-B 数据进行时空对齐后进行精度比对计算,得到该设备探测距离、方位和仰角测量精度。

经过对 6 批民航飞机统计分析距离、方位、俯仰,其数据如表 1 所示。

表 1 数据情况

序号	批号	距离起始 /km	距离终止 /km	方位起始 /(°)	方位终止 /(°)	俯仰起始 /(°)	俯仰终止 /(°)	跟踪时间 /s	跟踪点数
1	4	178.75	143.66	241.09	238.13	1.24	2.70	164.94	111
2	17	244.88	205.85	248.95	249.53	0.90	1.93	165.60	158
3	103	246.59	19.82	247.92	225.68	1.55	19.36	989.76	882
4	214	325.02	40.62	252.48	271.99	0.16	13.12	1 444.98	1 056
5	250	323.25	21.30	243.53	206.66	0.64	23.60	1 270.19	1 287
6	121	163.04	9.19	244.97	229.40	2.26	52.48	752.50	374
7	168	175.39	78.14	253.65	244.70	2.14	4.12	473.96	270
8	75	225.74	72.78	243.97	261.35	1.31	6.68	734.43	696
9	98	156.11	13.22	248.15	145.37	2.39	29.27	703.56	356
10	474	223.34	76.73	247.51	243.49	1.11	5.41	625.25	529

时间距离分析图如图 2 所示。



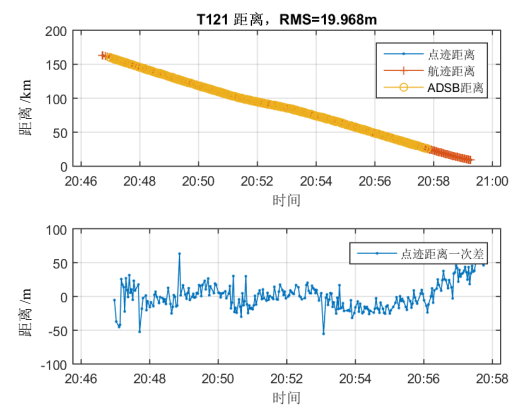
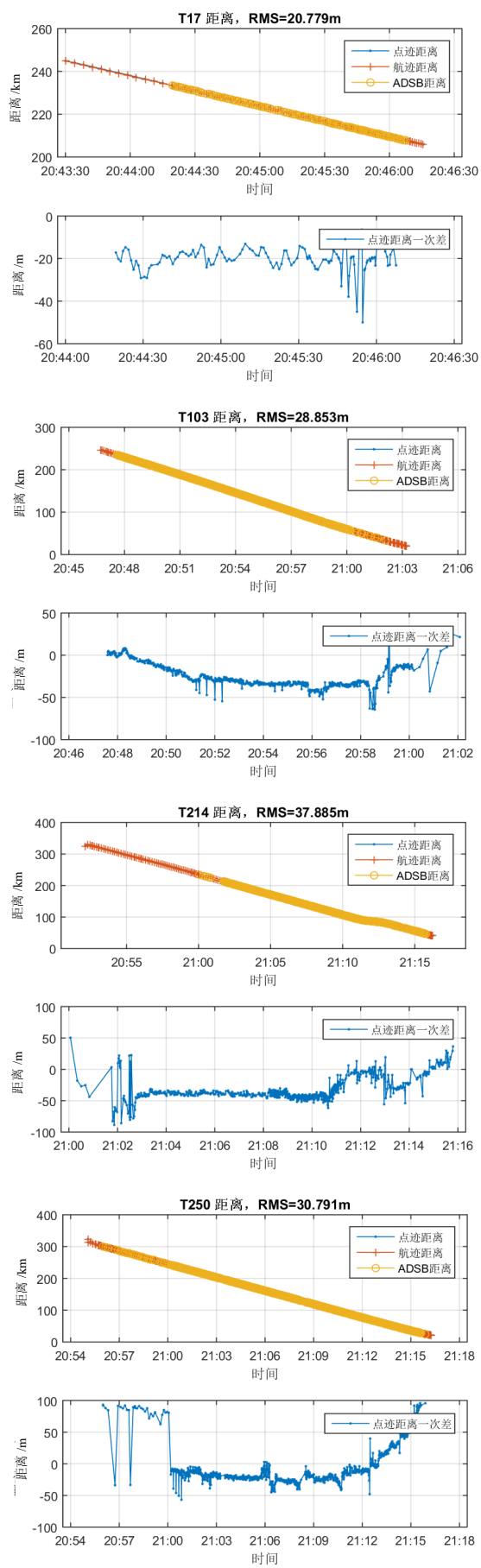
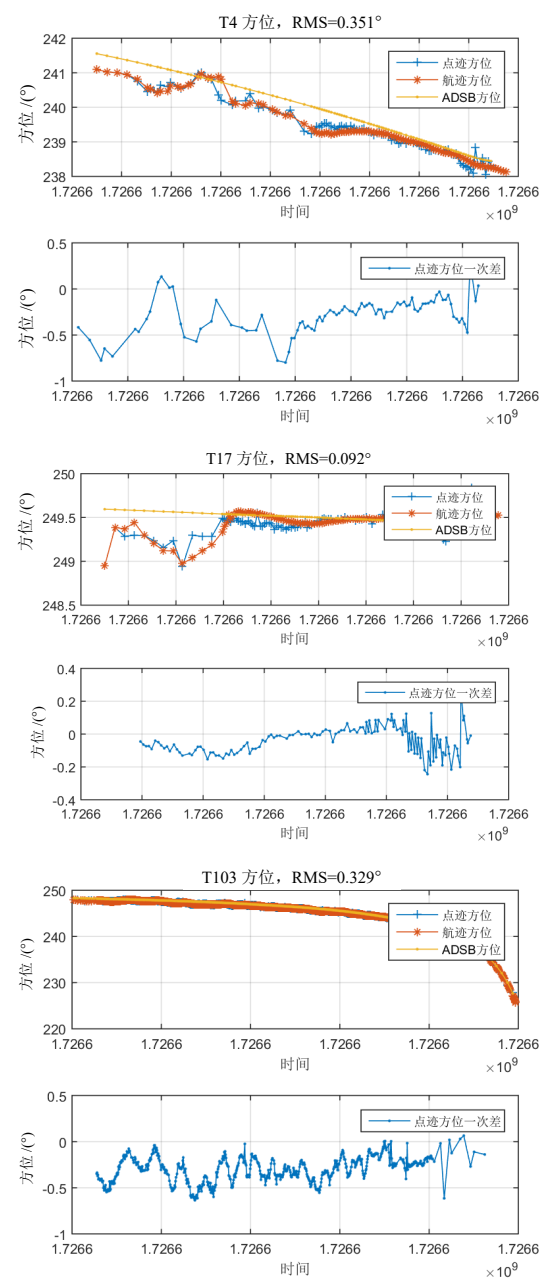


图 2 时间距离仿真图

时间方位仿真图如图 3 所示。



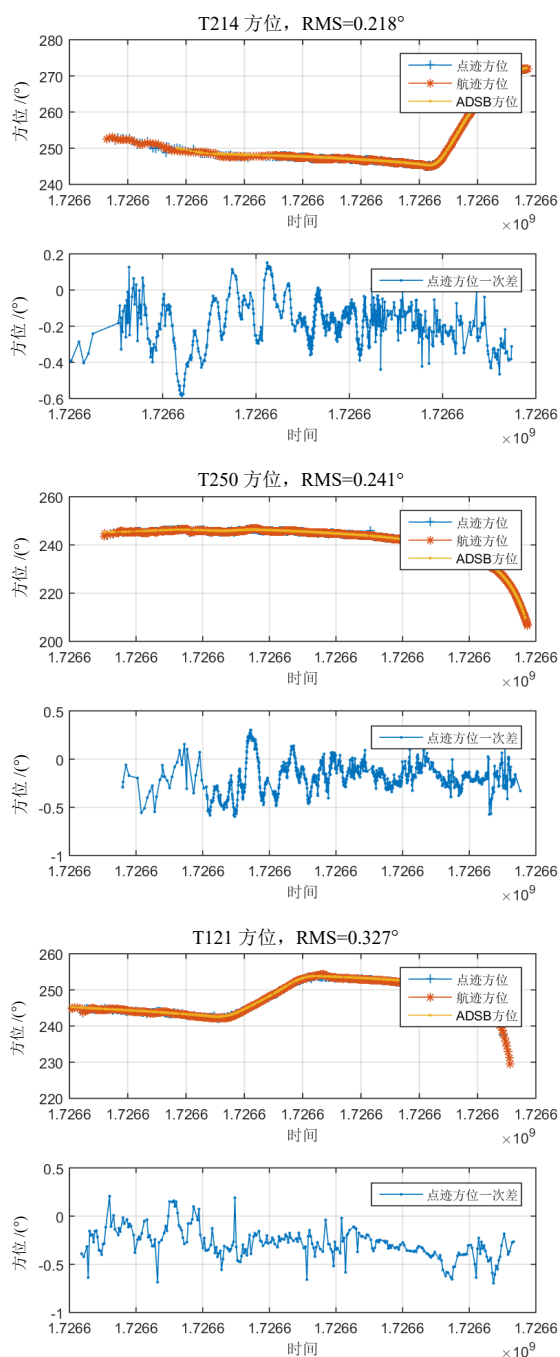


图3 时间方位仿真图

4 结语

通过试验数据分析结果可知,本文提出的一种基于ADS-B的雷达系统误差标定改进方法,该算法可以利用民航飞机的ADS-B系统的数据作为雷达跟踪精度的基准,然后有效快速地对雷达系统误差标定,得到的雷达系统的精度误差可以评估雷达系统探测目标的精度。

参考文献:

[1] 孟军,马彦恒,董建,等.一种基于ADS-B的雷达跟踪精

度计算方法[J].中国测试,2013,39(1):110-113.

- [2] 胡铁乔,毕子文.ADS-B接收机监视与测试软件的设计实现[J].中国民航大学学报,2022,40(4):10-16.
- [3] 董云龙,黄高东,李保珠.一种非均匀系统误差的雷达分区校准方法[J].电光与控制,2020,27(3):69-74.
- [4] 林东,王布宏,王振昊.重放攻击下雷达组网系统的目标跟踪性能[J].空军工程大学学报(自然科学版),2018,19(4):54-58.
- [5] 吴振亚,王明辉,张瑞平,等.一种基于ADS-B的雷达误差实时融合校正算法[J].西南交通大学学报,2013,48(1):102-106.
- [6] 林盛,刘军伟,徐伟.一种基于ADS-B的雷达系统误差标定方法[J].舰船电子对抗,2018,41(2):45-48.
- [7] 原常弘,郭文明,范恩,等.联合ADS-B的最小二乘雷达系统误差估计方法[J].计算机系统应用,2019,28(9):264-270.
- [8] 张召悦,黄诚昊.基于ADS-B数据的一次雷达系统误差校准方法[J].空军工程大学学报,2024,25(1):83-89.
- [9] 金开研,朱衍波,许有臣.基于ADS-B的航空器测高系统误差评估方法[J].北京航空航天大学学报,2017,43(4):685-693.

【作者简介】

肖杰(1988—),女,四川成都人,硕士研究生,工程师,研究方向:雷达数据处理、信息融合。

(收稿日期:2025-11-04 修回日期:2026-07-13)