

引用格式: 赵疑飞, 于克非. 星基广播式自动相关监视系统监视数据空中位置信息质量分析[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(14): 279—284
Zhao Yifei, Yu Kefei. Quality analysis of air position on space-based automatic dependent surveillance broadcast surveillance data[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(14): 279—284

星基广播式自动相关监视系统监视数据 空中位置信息质量分析

赵疑飞 于克非

(中国民航大学空中交通管理学院 天津 300300)

摘要 为弥补广播式自动相关监视系统(ADS-B)地面站建设成本高、技术复杂以及沙漠海洋极地等地区难以搭建的不足,可在卫星上搭建ADS-B接收机,实现对全球空中交通的监测与管制。解析星基ADS-B报文、整理报文信息、提取导航完整度类别信息(NIC)、分析空中位置数据的完好性和精度信息。选取符合完好性要求的航迹点数据,统计与航路中心线的实际位置误差,运用统计学方法对航迹误差分布进行分析。结果表明,实际误差距离符合正态分布规律,95.5%的概率下空中位置的实际误差在(101.694, 211.761) m,为后续的卫星基系统监视性能的可用性分析打下了良好基础。

关键词 星基 ADS-B 导航完整度类别信息 报文解析 完好性 误差分析

中图分类号 V355.1; **文献标志码** A

广播式自动相关监视(automatic dependent surveillance-broadcast, ADS-B)作为国际民航组织确定的未来主要监视系统,将导航、通信、监视、机载设备以及地面站搭建等先进技术相结合,代替传统雷达,获取数据速度快、精度高、能够实时地获取航空器信息^[1]。目前,中国民航正在大力推进航管监视系统技术的变革,正在积极推动ADS-B系统的建设和运行^[2]。然而ADS-B地面接收站的建设成本高,在非洲、南美洲、东南亚、北极点和海洋区域,有将近71%的地方无法覆盖^[3]。解决方法是通过卫星监测全球的空中交通,在卫星上搭建ADS-B接收机可以使空中交通管制真正实现全球覆盖,包括海洋区域、两极和偏远地区^[4]。

星基ADS-B系统将高灵敏ADS-B接收机安装在低轨道卫星,通过卫星采集飞机发送的广播信息,接收S模式1090 MHz数据链,实时传输到地面站并补充到空管系统^[5]。2014年,Werner等针对欧空局的首例低轨道卫星基ADS-B系统,介绍了Proba-V微卫星ADS-B接收机和天线的设计原理,分别从总体特征、链路预算、接收识别飞机位置、天线覆盖范围、性能参数设计及评估五个方面分析该系统的监视性能,其结果表明星基ADS-B系统技术上可行^[6]。2015年9月,国防科技大学航天科学与工程

学院自主设计并研发的“天拓三号”微纳卫星发射升空,该卫星搭载了一架ADS-B接收机,可以接收飞机发送的报文;其中包含接收时间、飞机地址码、航班号、空中位置和空中速度等信息^[7]。星基ADS-B系统虽然接收信息覆盖面广;但仍存在传输距离远、高动态及高密度地区信号密集等问题^[4]。为了验证该系统监视性能的可用性,需要寻找卫星数据质量分析的方法。

目前,中国对地基ADS-B系统的应用已较为成熟。2010年,刘计民、张兆宁分别介绍了所需通信、导航、监视性能的概念和在国内外的研究进展;其中,所需监视性能(RSP)可作为ADS-B系统监视性能的评价指标^[8]。2012年,赵疑飞等通过与航路中心线的比较,研究了ADS-B航迹数据误差分布规律,结果表明偏差距离服从正态分布规律^[9]。2013年,钟建华等研发了一个ADS-B数据质量分析系统;该系统可以解析报文,计算数据的完好性、漏点率和跳点率;并且能显示航空器的运行轨迹^[10]。2015年,沈笑云等根据ADS-B报文中的位置导航不确定类别信息,统计ADS-B航迹点与航路中心线的偏差距离;并计算出置信水平为99%的误差置信区间^[11]。2017年,在第12届欧美空中交通管理研究与发展研讨会上,Verbraak等系统地对比ADS-B原始报文数据进行整理,分别从延迟、准确性、更新时间间隔和完整性几方面进行分析,证明ADS-B尽管存在地面站收发、机载设备应答等方面的问题,未来仍可以作为航空器的主要监视手段^[12]。

2017年11月7日收到 国家重点研发计划(2016YFB0502400)和国家自然科学基金(U1633112, U1533112)资助
第一作者简介: 赵疑飞(1971—),博士,教授。研究方向:空中交通规划与管理。E-mail: yifei6666@sina.com。

为评估星基 ADS-B 系统接收报文信息的完好性与航迹数据的实际误差,本文采集国防科技大学“天拓三号”微纳卫星向地面传送的原始 ADS-B 报文,综合上述 ADS-B 数据的分析方法,对报文进行解码并提取导航完整度类别信息 NIC。寻找 NIC 数值的分布规律,选取满足完好性要求的航迹点数据,计算实际航迹数据与航路中心线的距离并分析航迹误差的分布规律。

1 导航完整度类别信息

星载 ADS-B 接收机不断采集飞机的报文信息并实时传输到地面站,地面站接收完成 ADS-B 报文数据包后,需要从报文的数据段中提取 ADS-B 数据帧和时间信息帧;其中,ADS-B 数据帧共 18 字节,16 进制记录,以 7e5a 开头,3edb 结尾,中间为 14 字节的 ADS-B 信息。时间信息帧每分钟记录一次,穿插在 ADS-B 数据帧当中,16 进制记录,以 b87e 开头,后接 8 字节的时间信息,包括世纪、年、月、日、时、分和秒。单条 ADS-B 报文共 14 字节,112 bits,被分为 5 个大的数据块。其中,Bit33 ~ Bit88 为 ADS-B 消息域(ME),用来记录 ADS-B 各类消息,总共 56 个比特位,ME 字段根据前 5 位 type 字段大小来识别不同的消息类型^[13],如表 1 所示。

表 1 ADS-B 消息类型的确定
Table 1 Determination of ADS-B message type

类型	ADS-B 消息类型
1~4	飞机 ID 与类型消息
5~8	地表面位置消息
9~18	空中位置消息
19	空中速度消息
29	目标状态与状况
31	飞机运行状况

表 1 中,飞机 ID 与类型消息包含飞机类型和航班号等信息;地表面位置消息和空中位置消息分别记录飞机在地面和空中的经纬度位置信息;空中速度消息记录飞机的速度和航向等信息;目标状态与状况消息和飞机运行状况消息都用于提供飞机在航行中的仪表状态及导航数据源状况,前者在飞机到达指定位置时发布,后者在运行状况有改变时发布。

“天拓三号”星载 ADS-B 报文中,每个位置信息的更新会附带一个质量指标来表明该报告位置的完好性,该指标称为导航完整度类别信息(navigation integrity category, NIC),NIC 对水平完好性限制(horizontal protection limit, HPL)进行编码,HPL 是衡量 GPS 系统水平位置完好性的一个评价指标,表示一个以报告位置为圆心的圆半径,真实位置落在

圈外的概率为 10^{-7} 。由表 1 可知,消息域中 type 字段在 9~18 时表示飞机的空中位置消息,type 字段数值分别对应不同的 NIC 值,其对应关系如表 2 所示。其中,NIC 附加子字段记录在飞机运行状况消息中,与 type 字段共同决定 NIC 的取值, R_c 表示飞机空中位置的水平半径容限。

表 2 导航完整度类别信息(NIC)对应表
Table 2 Rank of navigation integrity category(NIC)

类型	NIC 附加子字段	R_c/nm	NIC
9	0	<0.004	11
10	0	<0.01	10
	1	<0.04	9
11	0	<0.1	8
12	0	<0.2	7
	1	<0.5	
13	0	<0.6	6
14	0	<1	5
15	0	<2	4
	1	<4	3
16	0	<8	2
17	0	<20	1
18	0	≥ 20	0

根据中国民用航空局在无雷达区使用 ADS-B 监视系统的适航和运行批准指南中的规定,5 海里间隔服务所需的保护半径为 1 海里即 $NIC \geq 5$ 的航迹数据符合无雷达区 ADS-B 监视服务的位置完好性需求^[14]。所以本文从空中位置消息字段中提取 NIC 信息,选取 $NIC \geq 5$ 的航迹数据用以统计实际航迹数据的误差分布。

2 报文信息整理

2.1 整理步骤

采用国防科技大学提供的解析软件解码,解析后的数据存储到一个文本文件当中。由于当前星基系统的数传速率有限,星上接收的 ADS-B 报文均未加上时标,而是每分钟加一个时标,所以该软件顺序解码后的数据时间信息帧穿插在数据帧当中。为便于后期整理分析,需要定位每个时间信息位置并将时间插值到每条 ADS-B 报文中,通过 VBA 编程实现该功能。

Visual Basic for Application 是 Visual Basic 的一种宏语言,是微软开发出来在其系统的应用程序中执行自动化任务的编程语言^[15]。VBA 的优点在于它嵌套在 Excel 内部,可以轻松开发出功能强大的自动化程序;界面简单,方便用户操作;包含多个步骤且复杂的人工操作可以通过运行 VBA 代码快速实现。利用 VBA 编程可以快速查找时间信息并插入到每条报文中,整理流程如下。

(1) 提取一天的卫星数据, 利用软件解析报文生成 TXT 文件, 导入文本数据到 Excel 中。

(2) 打开 Excel 开发工具选项中的 VB 编辑器, 编写代码实现定位查找并将接收时间线性插值到每一条报文中。

(3) 整理表格, 汇总成一张含有多条报文信息的总表, 提取接收时间、飞机地址码、航班号、水平容限、纬度和经度信息, 制作一张空中位置整理表用来统计接收数量并计算丢包率。

丢包率指接收报文过程中丢失数据量占所发送数据的比例, ADS-B 报文位置消息的经纬度确定采用 CPR 算法解码, 该算法需要一组奇偶编码才能解算出一个位置信息。每条位置消息中均有一位用来存储报文奇偶性, 解码失败则表明有一条奇报文或偶报文丢失, 对接收到的空中位置消息作丢包率计算, 丢包率 = 未解析成功的报文数量 / 空中位置消息总报文数量。

2.2 接收数量统计

星基 ADS-B 报文消息类型包括飞机地面位置、空中位置、空中速度、航班号、飞机运行状况和目前运行状态, 一天中接收各消息类型的比例不同, 以 2016 年 10 月 20 日的数据为例, 消息类型的分布如图 1 所示。

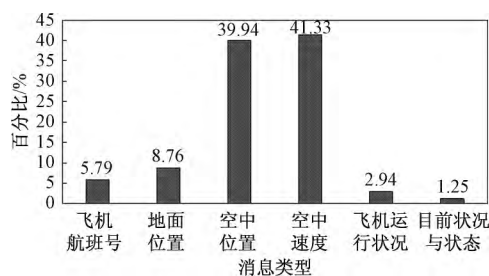


图 1 星基 ADS-B 报文消息分布

Fig. 1 Message distribution of space-based ADS-B

由图 1 可以看出, 一天接收的数据中, 空中位置消息和空中速度消息比较多, 其中, 空中速度消息大多显示飞机在沿固定航向保持巡航速度飞行, 变化不大, 暂不做数据统计, 本文主要针对空中位置消息做接收数量的统计, 以便分析卫星接收 ADS-B 报文信息的情况。选取 2016 年 10 月 17 日 ~ 10 月 21 日 5 d 的数据, 分别对空中位置报文的飞机数量、航班数、可解码的位置数量和丢包率进行统计, 统计结果如表 3 所示。

根据表 3 的统计结果, 可以发现航班数普遍低于飞机数量, 这是因为飞机的航班信息显示在飞机 ID 消息类型中, 有一部分飞机航行中不会向卫星 ADS-B 接收机发送该类消息, 所以导致有些飞机能

表 3 空中位置报文数量统计

Table 3 Quantity statistics of air position messages

日期	飞机数量	航班数	解码位置	丢包率/%
2016-10-17	1 534	1 327	30 173	6.35
2016-10-18	1 954	1 119	34 083	6.60
2016-10-19	1 618	947	28 408	6.88
2016-10-20	1 747	1 052	32 038	6.45
2016-10-21	2 203	1 267	35 628	7.07
平均数量	1 811	1 142	32 066	6.67

接收空中位置却匹配不到航班号的情况。一天中接收的空中位置信息在 3.5×10^4 左右, 丢包率普遍在 6.67%, 表示卫星在接收飞机报文信息过程中会有遗漏: 一是因为目前仅有一颗试验卫星, 接收范围不全面; 二是卫星沿 524 km 的低轨道运行, 传输距离远, 在飞机密集的地区容易造成信息丢失。

3 航迹样本空间的建立

3.1 NIC 信息分布

在整理完报文数据的基础上, 从 2016 年 10 月 20 日一天的报文中, 提取每条空中位置消息中的 NIC 信息, 根据 NIC 数值的不同进行分类统计, 统计结果如图 2 所示。

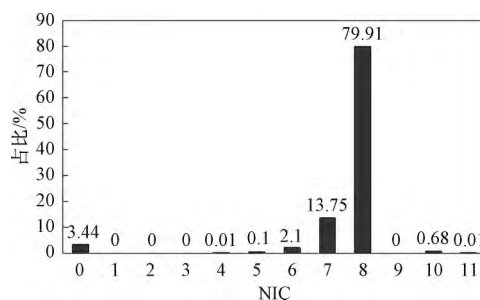


图 2 导航完整度类别信息分布

Fig. 2 Distributions of navigation integrity category

从 NIC 分布图中可以看出, $NIC \geq 5$ 的航迹数据占总数的 96.55%, NIC 数值绝大多数集中于 8, 说明卫星数据的水平半径容限整体在 0.1 海里以内, 准确性较高。

3.2 实际误差样本空间建立

目前, “天拓三号”微纳卫星只有一颗, 沿 524 km 低轨道运行, 轨道周期 95 min, 对地幅宽约 2 000 km。卫星在某一时刻的位置与地球圆心的连线同地球表面的交点, 称为卫星星下点。星下点随着卫星的轨迹运动与地球自转不断变化, 将不同时刻的星下点连接, 形成的轨迹称作星下点轨迹^[16]。由于卫星数量限制以及监视范围的不确定性, 尚无法实现对某一航班的实时追踪, 故选取途经 G470 奇台至长武航段的从 2016 年 10 月 18 日 ~ 11 月 16 日时间段

的所有航迹数据建立样本空间。建立步骤如下。

(1) 提取 $NIC \geq 5$ 的航迹数据,确定 G470 奇台至长武航段的坐标选取范围。

(2) 筛选符合选取范围的航迹点,剔除错误重复的数据。

(3) 以一天数据量为一组样本,分别计算每组样本中的空中位置点与航路中心线的偏差距离,建立样本空间。

4 航迹误差分析

4.1 样本计算

分别以一天内接收的星基 ADS-B 空中位置信息为一组样本,总共由 30 组样本组成样本空间,对每组样本计算分析。设空中位置点与航路中心线的偏差距离为 x_i ,则偏差距离的样本均值为

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \tag{1}$$

依次对 30 组样本作均值计算,计算结果如表 4 所示。

4.2 正态性检验

在不知道总体服从什么分布的情况下,需要根据样本数据的特征来检验总体的分布形式,称为分布拟合检验,其中最常见的是总体分布正态性检验^[17]。根据中心极限定理,当一组不少于 30 个的随机变量服从同一分布且数学期望和方差可求,则该组变量近似服从正态分布^[18]。分别选用正态概率纸检验和 Jarque-Beran 检验法来判别样本数据是否服从正态分布。

正态概率纸以样本数据为横坐标,以标准正态分布函数 $\Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)$ 为纵坐标,在正态概率图中,对于一个均值为 μ ,标准差为 σ 的正态分布图像,是一条通过点 $(\mu, 0.5)$ 而斜率为 $\frac{1}{\sigma}$ 的直线。每个样本数据用 ‘+’ 表示,若样本点很靠近该条直线,则说明总体分布很接近正态分布。将表 4 数据绘制到正态概率图中,结果如图 3 所示。观察发现样本点有向一条直线汇聚的趋势,可初步认定样本数据服从正态分布。

为进一步验证样本数据的分布情况,还调用了 MATLAB 工具箱的 *jbstest* 函数来进行 Jarque-Beran 检验。Jarque-Beran 检验通过样本数据的偏度系数和峰度系数构成检验统计量,在调用 *jbstest* 函数进行分布的检验时,该函数依据实际的样本容量和给定的显著性水平,在内置的临界值表上用样条插值计算临界值。若检验统计量的观测值不小于这个临界

表 4 偏差距离的样本均值

Table 4 Sample mean of deviation

样本号	样本日期	样本均值/m
1	2016-10-18	176.77
2	2016-10-19	174.04
3	2016-10-20	150.47
4	2016-10-21	140.23
5	2016-10-22	161.48
6	2016-10-23	184.41
7	2016-10-24	182.62
8	2016-10-25	166.09
9	2016-10-26	156.21
10	2016-10-27	150.37
11	2016-10-28	139.07
12	2016-10-29	119.55
13	2016-10-30	159.23
14	2016-10-31	118.68
15	2016-11-01	142.61
16	2016-11-02	156.78
17	2016-11-03	176.75
18	2016-11-04	185.23
19	2016-11-05	177.51
20	2016-11-06	146.83
21	2016-11-07	150.48
22	2016-11-08	152.22
23	2016-11-09	127.75
24	2016-11-10	150.79
25	2016-11-11	168.31
26	2016-11-12	167.09
27	2016-11-13	152.93
28	2016-11-14	158.75
29	2016-11-15	139.28
30	2016-11-16	169.86

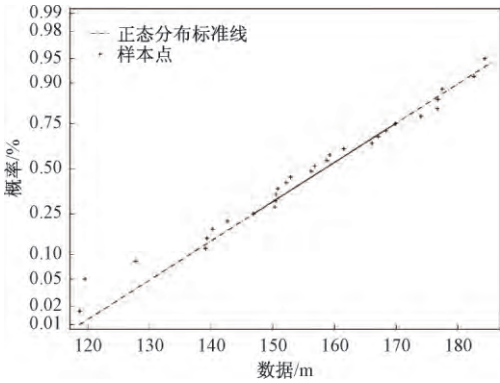


图 3 概率纸检验

Fig. 3 Test of probability paper

值时 *jbstest* 函数会拒绝原假设的判断,原假设即样本服从正态分布。

调用 $[h, P, Jbstat, CV] = jbstest(X, 0.05)$ 作正态性检验, *h* 表示测试结果。若 *h* = 0,则接受原假设,认为样本数据 *X* 服从正态分布;若 *h* = 1,则否定原假设; *P* 表示接受原假设的概率值; *Jbstat* 表示检

验统计量的观测值; CV 表示是否拒绝原假设的临界值。代入样本数据到 X 中,输出如下: $h = 0$, $P = 0.5000$, $Jbstat = 0.8001$, $CV = 4.4039$, 其中, $h = 0$ 表示在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 下接受原假设, $P = 0.5000$ 表示接受假设的概率很大, 测试值 $Jbstat = 0.8001$ 小于临界值 $CV = 4.4039$, 所以接受原假设, 即样本数据服从正态分布。

4.3 总体均值的置信区间

样本均值 \bar{X} 是总体均值 μ 的无偏估计量, 且 $\bar{X} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right)$, $\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \sim N(0, 1)$, 则取枢轴量为

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \sim N(0, 1) \quad (2)$$

由于总体方差 σ^2 未知, 考虑到样本方差 S^2 是总体方差 σ^2 的无偏估计, 因此可在式(2)中用 S 代替 σ , 构造枢轴量为^[19]

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}} \sim t(n-1) \quad (3)$$

对于给定的 α , 由 t 分布双侧 α 分位数的概念, 可知:

$$P\left[\left|\frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}}\right| < t_{\alpha/2}(n-1)\right] = 1 - \alpha \quad (4)$$

可得 μ 的置信水平为 $1 - \alpha$ 的置信区间为

$$\left[\bar{X} - t_{\alpha/2}(n-1) \frac{S}{\sqrt{n}}, \bar{X} + t_{\alpha/2}(n-1) \frac{S}{\sqrt{n}}\right] \quad (5)$$

4.2 节已验证样本数据服从正态分布, 现在求总体均值 μ 的置信水平为 0.95 的置信区间。由置信水平 $1 - \alpha = 0.95$ 得 $\alpha = 0.05$, 查 t 分布表得:

$$t_{\alpha/2}(n-1) = t_{0.025}(29) = 2.0452 \quad (6)$$

由表 3 数据算得 $\bar{X} = 156.7463$, $S = 17.9673$, 代入式(5)得 (150.037, 163.455) m。

4.4 总体标准差的置信区间

求得总体均值 μ 的置信区间后, 为更好地了解实际误差与总体均值的偏差波动情况, 还需计算总体标准差 σ 的置信区间。由样本均值 \bar{X} 是总体均值 μ 的无偏估计量, 构造枢轴量:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{\sigma^2} = \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \sim \chi^2(n-1) \quad (7)$$

对给定的 α , 有:

$$P\left[\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-1) < \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} < \chi^2_{\frac{\alpha}{2}}(n-1)\right] = 1 - \alpha \quad (8)$$

得 σ^2 的置信水平为 $1 - \alpha$ 的置信区间为

$$\left[\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2}}(n-1)}, \frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-1)}\right] \quad (9)$$

则标准差 σ 的置信水平为 $1 - \alpha$ 的置信区间为

$$\left[\frac{\sqrt{(n-1)S}}{\sqrt{\chi^2_{\frac{\alpha}{2}}(n-1)}}, \frac{\sqrt{(n-1)S}}{\sqrt{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-1)}}\right] \quad (10)$$

现在计算总体标准差 σ 的置信水平为 0.95 的置信区间, 由置信水平 $1 - \alpha = 0.95$ 得 $\alpha = 0.05$, 查 χ^2 分布表得:

$$\begin{cases} \chi^2_{\frac{\alpha}{2}}(n-1) = \chi^2_{0.025}(29) = 45.722 \\ \chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-1) = \chi^2_{0.975}(29) = 16.047 \end{cases} \quad (11)$$

代入式(10)得 (14.309, 24.153) m。

求得实际误差的总体均值和标准差后, 可以大致推算 G470 奇台至长武航段的航迹误差分布规律, 在 2σ 即 95.5% 的概率下空中位置的实际误差在 $\mu \pm 2\sigma$ 即 (101.694, 211.761) m, 满足 ADS-B 通信协议的监视要求。

5 结论

(1) 经统计星基 ADS-B 符合无雷达区监视服务的位置完好性需求的航迹数据占总数的 96.55%, 但总接收数量略少, 信息丢包率较高。

(2) 样本空间的计算结果表明, 实际误差距离符合正态分布规律, 95.5% 的概率下空中位置的实际误差在 (101.694, 211.761) m。

参 考 文 献

- 1 中国民用航空局. 中国民用航空 ADS-B 实施规划(2015 年第一次修订). 北京: 中国民用航空局, 2015
- Civil Aviation Administration of China. China's civil aviation ADS-B implementation plan (the first revision in 2015). Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2015
- 2 Zhang J, Liu W, Zhu Y B. Study of ADS-B data evaluation. Chinese Journal of Aeronautics, 2011; 24(4): 461—466
- 3 Blomenhofer H, Rosenthal P, Pawlitzki A, et al. Space-based automatic dependent surveillance broadcast (ADS-B) payload for in-orbit demonstration. Advance Satellite Multimedia Systems Conference. New York: IEEE, 2012: 160—165
- 4 Parkinson A. Space-based ADS-B: A small step for technology a giant leap for ATM. Tyrrhenian International Workshop on Digital Communications-Enhanced Surveillance of Aircraft and Vehicles. New York: IEEE, 2011: 159—164
- 5 Garcia M A, Stafford J, Minnix J. Aireon space based ADS-B performance model. Integrated Communication, Navigation, and Surveillance Conference. New York: IEEE, 2015: C2
- 6 Werner K, Bredemeyer J, Delovski T. ADS-B over satellite: Global air traffic surveillance from space. Tyrrhenian International Workshop on Digital Communications-Enhanced Surveillance of Aircraft and Vehicles. New York: IEEE, 2014: 47—52
- 7 陈利虎, 陈小前, 赵 勇. 星载 ADS-B 接收系统及其应用. 卫星应用, 2016; (3): 34—40
- Chen Lihu, Chen Xiaoqian, Zhao Yong. Space-based ADS-B receive-

- ing system and application. *Satellite Communication*, 2016; (3): 34—40
- 8 刘计民, 张兆宁. 浅谈所需 CNS 性能及参数指标的发展. *交通运输工程与信息学报*, 2010; 8(1): 89—95
Liu Jimin, Zhang Zhaoning. Discussion of the development of required CNS performances and its parameter indexes. *Journal of Transportation Engineering and Information*, 2010; 8(1): 89—95
 - 9 赵巍飞, 王晨, 王红勇. 基于 ADS-B 的航迹误差分布规律研究. *中国民航大学学报*, 2012; 30(6): 48—52
Zhao Yifei, Wang Chen, Wang Hongyong. Research on laws of flight path error distribution based on ADS-B. *Journal of Civil Aviation University of China*, 2012; 30(6): 48—52
 - 10 钟建华, 刘卫东, 王东东, 等. ADS-B 监视数据质量分析研究. *西安航空学院学报*, 2013; 31(3): 72—75
Zhong Jianhua, Liu Weidong, Wang Dongdong, *et al.* Analysis on ADS-B surveillance data quality. *Journal of Xi'an Aeronautical University*, 2013; 31(3): 72—75
 - 11 沈笑云, 唐鹏, 张思远, 等. ADS-B 统计数据的位置导航不确定类别质量分析. *航空学报*, 2015; 36(9): 3128—3136
Shen Xiaoyun, Tang Peng, Zhang Siyuan, *et al.* Quality analysis of navigation uncertain category for position based on ADS-B statistical data. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*. 2015; 36(9): 3128—3136
 - 12 Verbraak T L, Ellerbroek J, Sun J, *et al.* Large-scale ADS-B data and signal quality analysis. *USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar*. Berlin: ResearchGate, 2017: 82
 - 13 Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA). Minimum operational performance standards for 1 090 MHz extended squatter automatic dependent surveillance broadcast (ADS-B): DO-260B. Washington, D. C.: RTCA, 2009
 - 14 中国民航局. 在无雷达区使用 1090 兆赫扩展电文广播式自动相关监视的适航和运行批准指南. 北京: 中国民用航空局, 2010
Civil Aviation Administration of China. The airworthiness and operational approval guidelines of 1090MHz ES automatic dependent surveillance-broadcast in none radar areas. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2010
 - 15 Perry G L W. SpPack: Spatial point pattern analysis in Excel using visual basic for applications (VBA). *Environmental Modeling & Software*, 2004; 19(6): 599—569
 - 16 Knudsen B G, Jensen M, Birklykke A, *et al.* ADS-B in space: Decoder implementation and first results from the GATOSS mission. *Electronic Conference*. New York: IEEE, 2015: 57—60
 - 17 何正风. MATLAB 在数学方面的应用. 北京: 清华大学出版社, 2012: 170—172
He Zhengfeng. The application of MATLAB in mathematics. Beijing: Tsinghua University Press, 2012: 170—172
 - 18 王红勇, 王晨, 赵巍飞. 基于 ADS-B 统计数据的航路安全间隔研究. *中国安全科学学报*, 2013; 23(2): 103—108
Wang Hongyong, Wang Chen, Zhao Yifei. Research on air route safety separation based on ADS-B statistical data. *China Safety Science Journal*, 2013; 23(2): 103—108
 - 19 郭跃华, 朱月萍. 概率论与数理统计. 北京: 高等教育出版社, 2011: 169—174
Guo Yuehua, Zhu Yueping. Probability and statistics. Beijing: Higher Education Press, 2011: 169—174

Quality Analysis of Air Position on Space-based Automatic Dependent Surveillance Broadcast Surveillance Data

ZHAO Yi-fei, YU Ke-fei

(College of Air Traffic Control, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

[Abstract] Automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B) ground station has high cost, complexity technique. It is hard to build in deserts, polar, seas, and other regions. In order to make up for these deficiencies, ADS-B receiver can be built on satellite to monitor and control the global air traffic. For this study, a dataset of space-based ADS-B messages was analyzed and arranged. The navigation integrity category (NIC) has been extracted to analysis the integrity and accuracy of air position data. According to the requirements of track data integrity, the actual location error between the track point and the route centerline was calculated, and used statistical methods to analyze the distribution of track error. The result shows that the deviated distance obeys the normal distribution. The actual error of air position in the probability of 95.5% is (101.694, 211.761) m. The condition for the further research on availability analysis of space-based ADS-B surveillance performance was created.

[Key words] space-based ADS-B navigation integrity category formation analysis data integrity error analysis