

doi: 10.7690/bgzdh.2018.02.018

一种多目标 ADS-B 信号的合成方法

赵火军, 高晓利, 王 维

(四川九洲电器集团有限责任公司预研部, 四川 绵阳 621000)

摘要: 为解决广播式自动相关监视(automatic dependent surveillance-broadcast, ADS-B)性能和功能指标难以测试、真实交织信号难以获取的问题, 提出一种多目标 ADS-B 信号合成方法。介绍了多目标生成技术的工作原理, 依据 ADS-B 信号特征, 设计了一种基于多目标 ADS-B 中频叠加信号的数字处理方法, 并通过数值试验进行仿真分析与验证。仿真结果表明: 该方法能很好地产生和模拟空间中多个目标的叠加信号, 测试和验证 ADS-B 设备的性能和功能指标, 为 ADS-B 系统的工程化应用提供技术支持。

关键词: ADS-B; 多目标生成技术; 中频叠加信号; 数字处理

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

A Synthetic Method of Multi-target ADS-B Signal

Zhao Huojun, Gao Xiaoli, Wang Wei

(Pre-research Department, Sichuan Jiuzhou Electric Group Co., Ltd., Mianyang 621000, China)

Abstract: In order to solve the difficult testing and acquiring the real interlaced signal of the automatic dependent surveillance-broadcast(ADS-B), a synthetic method of multi-target ADS-B signal is proposed. The principle of multi-target generation technology is introduced, according to ADS-B signal feature, design a digital processing method based on multi-target ADS-B intermediate frequency superimposed signal, then simulation analysis and verification were accomplished by numerical experiments. The result showed that the method could generate and simulate the superposition of multi-target signal in the space. The technology could be used to test and verify the performance and function index of the ADS-B equipment, and provide technical support for ADS-B system engineering application.

Keywords: ADS-B; multi-target generation technology; intermediate frequency superimposed signal; digital processing

0 引言

随着中国经济的腾飞, 民用航空运输业得到了快速发展, 同时对民航运输也提出了新的需求: 1) 洋区和大陆边远地区的雷达监视问题; 2) 已有雷达覆盖的地区雷达升级改造价格昂贵和雷达盲区问题。解决以上 2 个问题的办法就是采用广播式自动相关监视(ADS-B)技术。与传统监视雷达(一次雷达和二次雷达)相比, ADS-B 具有成本低、精度高、数据更新快、信息量大以及通信能力强的优点^[1]。ADS-B 技术的逐渐成熟导致大批量的 ADS-B 设备问世, 因此, 对 ADS-B 设备的性能和指标的测试至关重要。如果对设备的性能和指标测试都采用外场试飞等实地测试手段, 会加大经费支出, 增加设备的研制周期^[2]; 因此, 笔者采用多目标合成技术来实现 ADS-B 多目标模拟器, 通过该模拟器对 ADS-B 设备的性能和指标进行测试, 减少经费支出, 缩短研发周期。

目前, 绝大多数的多目标信号合成技术^[3-4]是在以现场可编程门阵列(field-programmable gate

array, FPGA)为核心硬件平台上开发完成的。其实现的流程如下: 通过控制信号的延迟模拟真实目标的距离, 通过控制发射机的增益来模拟真实目标的幅度衰减, 通过基带信号的相加来模拟多目标信号的合成。此方式模拟某一类信号能收到不错的效果, 但是基带信号合成与空间真实信号合成相比还是有一定的差别, 同时针对相位调制信号(如 BPSK、DBPSK 等)在基带合成会造成合成目标信号失真^[5]。针对上述情况, 笔者提出多目标中频信号合成技术满足空间信号合成原理, 能够对每个目标的距离、幅度、相位进行控制, 同时相位调制信号也不会出现失真现象。

目前国内主要使用的是基于 Mode S 1 090 MHz ES 数据链, 因此笔者主要针对该数据链进行多目标合成技术研究。该方法能很好地产生和模拟空间中多个目标的叠加信号, 为 ADS-B 设备性能和功能指标测试提供支撑, 节约外场试验成本。

1 多目标生成技术工作原理

多目标生成技术是多目标合成技术的基础, 通

收稿日期: 2017-12-01; 修回日期: 2017-12-26

作者简介: 赵火军(1984—), 男, 四川人, 硕士, 工程师, 从事二次雷达领域技术研究。

过灵活设置信号的距离、幅度和相位来模拟不同空间目标的真实信号。

1.1 距离和幅度的生成

距离的生成：通过设置时间延迟来模拟真实信号在空间上的距离变化，公式为

$$T = D / C。 \quad (1)$$

其中： T 表示时间， s； D 表示距离， m； C 表示光速， 3×10^8 m/s。

幅度的生成：对于不同距离上的目标，可以换算成对应的幅度值来控制每一路信号的幅度，从而真实模拟空间信号在传播过程中的路径衰减^[6]，换算公式为

$$a = -32.44 - 20 \log f - 20 \log R。 \quad (2)$$

式中： a 表示自由空间的路径衰减， dB； f 表示系统发射频率， MHz； R 表示距离， km。

1.2 相位的生成

信号处理分机根据传入的延时和幅度信息产生已调基带信号，通过数字上变频^[7]生成中频 (60~100 MHz) 数字信号，通过 D/A 把中频数字信号发送到通道管理器。

数字上变频原理：假设待上变频的基带信号为 $x(nT_s)$ ，上变频后的带通信号为 $s(t)$ ，则数字上变频的过程可以通过下式描述：

$$s(t) = x(nT_s)(\cos 2\pi f_0 \times nT_s + j \sin 2\pi f_0 \times nT_s)。 \quad (3)$$

式中： T_s 为采样间隔； f_0 为本地载波频率。在设计中， $f_s = 4f_0$ ，可以将式(4)转换成式(5)的形式：

$$\begin{aligned} s(t) &= x(nT_s)(\cos 2\pi f_0 \times nT_s + j \sin 2\pi f_0 \times nT_s) = \\ &= x(nT_s)(\cos 2\pi f_0 \times n / f_s + j \sin 2\pi f_0 \times n / f_s) = \\ &= x(nT_s)(\cos \frac{n\pi}{2} + j \sin \frac{n\pi}{2})； \end{aligned} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} I &= x(nT_s) \cos n\pi / 2 \\ Q &= x(nT_s) \sin n\pi / 2 \end{aligned} \right\}。 \quad (5)$$

从式(5)可知，余弦波的值和正弦波分别在(1, 0, -1, 0)和(0, 1, 0, -1)之间重复变化(当 n 由 0 值逐渐变大时)。基于这样的规律，当采样速率满足 $f_s = 4f_0$ 时，在一个载波周期内构建以上 4 个特殊的采样点，那么构造载波信号的频率为 f_0 。通过此查表方式构建的载波信号，可以灵活地控制载波的位数，并且保证输出信号的峰峰值达到较好的效果；因此相位的变化主要集中在(0, $\frac{\pi}{2}$, π , $\frac{3\pi}{2}$)之间周期变化。

数字上变频原理如图 1 所示。

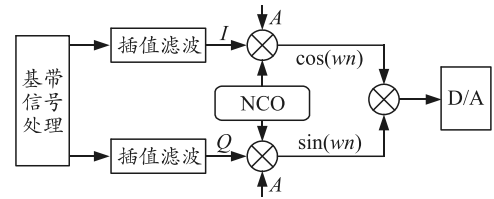


图 1 数字上变频原理

2 多目标合成技术工作原理

笔者提出的基于 S 模式的 ADS-B 多目标信号合成^[8-9]技术理论上可以模拟任意多路 ADS-B OUT 的信号合成。受限于 FPGA 资源和项目成本，笔者把多目标合成技术方案设计为最多可模拟 12 路通道，每路通道不超过 12 个目标，每路最多模拟 4 路信号交织，即总共可模拟 144 个目标。与相对于基带合成方式相比，基于 S 模式的 ADS-B 多目标信号合成技术具有更强的逼真度，能够满足对 ADS-B IN 设备的性能和指标的测试。基于 S 模式的 ADS-B 多目标信号中频合成技术实现原理如图 2。

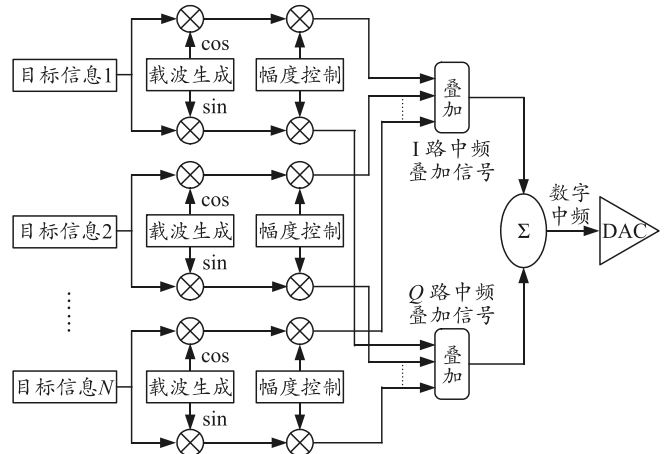


图 2 基于 S 模式的多目标 ADS-B 信号中频合成技术原理

图中基于数字中频的多目标 ADS-B 信号合成技术的实现流程为：通过控制信号的延时间隔来模拟目标的真实距离，通过空间自由信号衰减 Σ 公式来模拟真实目标的幅度衰减，通过 4 个点相位变化来模拟空间信号的相位变化，通过基于 FPGA 的数字中频 ADS-B 信号相加来模拟多目标 ADS-B 信号的合成。

根据实际的系统仿真需要，既能模拟 2 路的 ADS-B 中频信号合成，又能模拟多路 ADS-B 中频信号的合成，通过灵活控制每一路信号的幅度、距离延时和相位，进而模拟 ADS-B 空间信号的真实交织过程。

3 仿真分析与验证

对于任意的空间信号 $A\cos(\omega t + \theta)$ ，由以上分析可知：幅度和时间(距离)由上位机控制，相位由信号处理模块控制，因此原理上可以实现对任意空间信号的模拟；在基于数字中频的 ADS-B 多目标信号合成技术中，D/A 输出的是已调中频信号与幅度的乘积，为了保证 D/A 的动态范围(D/A 分辨率固定)，必须在已调中频信号位数和信号的幅度位数之间满足一定的条件。

为了验证笔者提出的多目标合成技术效果，通过在信号处理板的 FPGA 中产生中频叠加信号，然后送入 D/A 输入端，通过 Chipscope 软件采集信号来验证该信号叠加的效果，其中，图 3、图 5 和图 6 中 Bus Selection 区域里 a_i 表示多通道 ADS-B 中频叠加信号(本文主要指 2 路叠加信号)，FPGA1/U1_3/I1, FPGA1/U1_3/I2, FPGA1/U1_4/I1 表示 FPGA1 单目标 I 路中频信号；图 4 中 Bus Signal 区域中 FPGA1/U1_3/PSK_MS, FPGA1/U1_3/ASK_MS, FPGA1/U1_4/ASK_MS, FPGA1/U1_4/ASK_MS 分别表示第 1 个目标的基带编码信号，第 1 个目标的基带信号框，第 2 个目标的基带编码信号，第 2 个目标的基带信号框。

图 3 为 ADS-B OUT 信息不交织情况下基带信号经过数字上变频后的中频脉冲 ADS-B 信号。

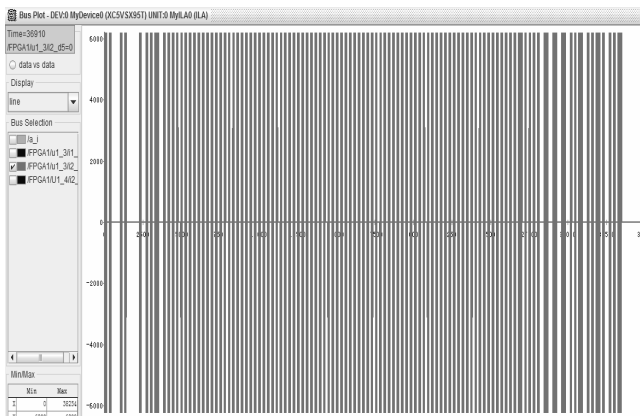


图 3 ADS-B 中频信号

假定 2 个目标的距离相差 100 m(ADS-B OUT 两目标信号交织)，信号的幅度比为 1:1 时，ADS-B OUT 信号如图 4 和图 5 所示。其中图 4 为 2 路 ADS-B OUT 信号在 FPGA 经 PPM 调制和 CRC 编码后的 2 路基带信号，图 5 为 ADS-B OUT 2 路基带信号经过数字上变频后合成的中频脉冲 ADS-B 信号。

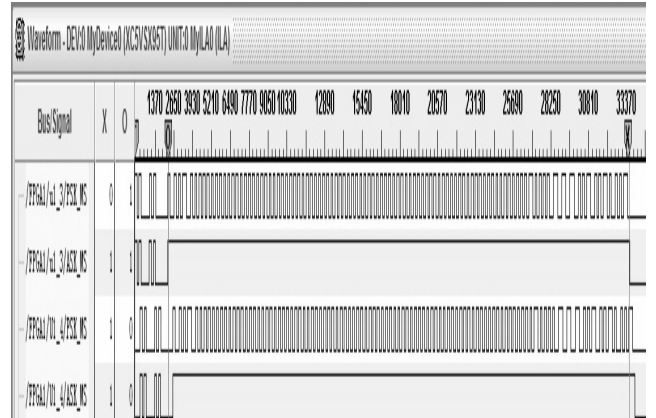


图 4 ADS-B OUT 基带信号(2 路 ADS-B OUT)

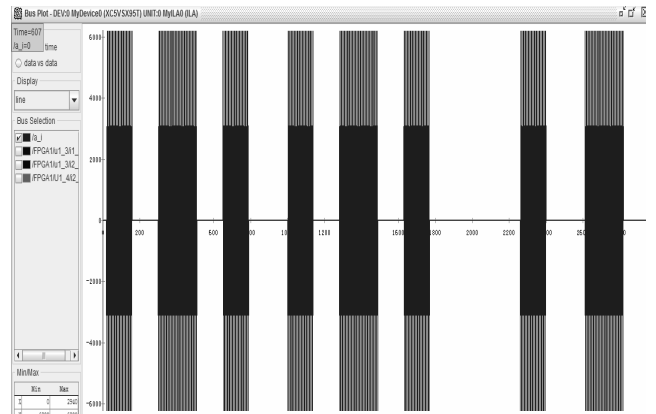


图 5 ADS-B OUT(幅度比 1:1)中频合成信号

假设 2 个目标的距离相差 100 m，信号的幅度比为 1:2 时，ADS-B OUT 2 路基带信号经过数字上变频后合成的中频脉冲 ADS-B 信号如图 6 所示。

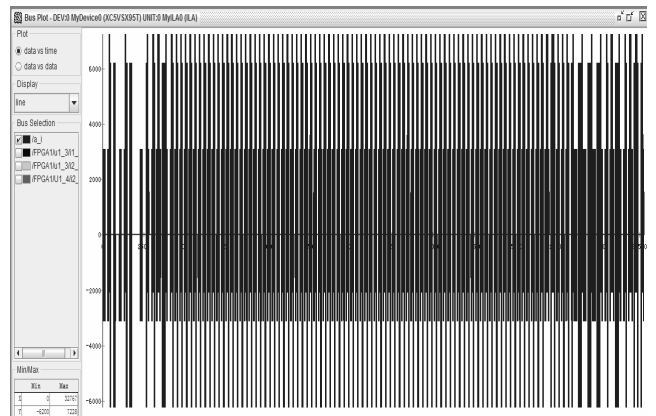


图 6 ADS-B OUT(幅度比 1:2)中频合成信号

由以上分析可知：该技术可实现多个目标的中频信号叠加，从而模拟空间多个交织和不交织真实信号的传播过程。

4 结束语

笔者介绍了一种基于 S 模式的多目标 ADS-B 信号中频合成方法。与基带合成技术相比，中频信

号合成技术能精确控制每路信号的距离、幅度和相位，同时针对相位调制的信号不会造成信号失真现象，满足空间信号传播原理。该技术具有一定的先进性和参考性，能更加逼真地模拟 ADS-B 空间信号的传播过程，特别是空间信号的交织情况。目前 ADS-B 模拟器已成功应用于多个项目中。多目标合成技术除了能应用于 ADS-B 多目标模拟器，还能应用于 ATC 多目标模拟器、S 模式多目标模拟器等，可为民航设备测试提供技术支持和验证手段。

参考文献：

- [1] 刘旭, 谢来阳. ERA ADS-B 系统在西沙群岛的应用[J]. 大众科技, 2015, 17(9): 7-10.
- [2] 虞粉英. 雷达多目标模拟器[D]. 南京: 南京理工大学, 2011: 1-3.

(上接第 65 页)

4 结束语

笔者考虑了保障系统的整体设计特性，建立保障方案评价指标体系，应用组合评价模型，通过对 AHP、熵值法和 TOPSIS 法的组合，对保障方案的评价问题进行分析。由于基于组合评价法的装备保障方案评价方法充分利用了各种方法的有用信息，避免了主观性，增加了合理性，使评价结果能更为准确地反映客观事实，从而证明了其具有一定的可行性与有效性。

参考文献：

- [1] 徐东, 徐永成. 装备综合保障中的若干关键技术[J]. 兵工自动化, 2006, 25(7): 30-31.
- [2] 曲丽丽, 康锐, 肖波平. 基于 SFA 的研制阶段装备保障

- [3] 胡晨波. 基于 S 模式 ADS-B 多目标模拟器的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2012: 14-17.
- [4] 郭恒. 多目标模拟 IFF 信号源-基带信号生成单元系统设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2011: 24-27.
- [5] 陈晓华, 文静, 余晓. 磁致伸缩弹性波机理分析与信号处理[J]. 兵工自动化, 2016, 35(9): 78-81.
- [6] 董浩. 室内无线信道测量与信道建模研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014: 7-11.
- [7] 铁奎, 张慷, 凌云志. 通信系统中数字上变频技术的研究与设计[J]. 电子设计工程, 2012, 20(15): 190-192.
- [8] 孙博, 周国安, 焦光龙, 等. 基于中频模拟器的雷达嵌入式仿真训练系统[J]. 计算机测量与控制, 2013, 21(7): 1990-1992.
- [9] 李建军. 空间电磁信号合成情况研究[J]. 电子信息对抗技术, 2006, 21(4): 29-32.
- *****
- 方案评价模型[J]. 航空学报, 2010, 31(3): 986-992.
- [3] 迟长啸, 宋太亮, 李广志. 保障方案综合分析方法研究[J]. 装甲兵工程学院学报, 1999, 13(2): 56-61.
- [4] 孙晋法, 李锋, 田伟峰. 基于改进的多属性群决策方法的装备保障方案评估[J]. 四川兵工学报, 2009, 30(8): 96-98.
- [5] 曲丽丽, 康锐. 基于 DEA 的研制阶段装备保障方案评价模型[J]. 北京航空航天大学学报, 2009, 35(12): 1224-1229.
- [6] 李宏伟, 严骏, 熊云. 装备保障系统评价多属性决策分析[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2008, 9(1): 81-84.
- [7] 李光辉. 舰船总体综合保障技术特点及设计接口分析[J]. 中国舰船研究 2007, 5(2): 96-97.
- [8] 李金颖, 李金超, 牛东晓. 基于熵权法的供电商竞争力组合评价[J]. 继电器, 2008, 36(6): 42-47.