

一种塔康信标扩展数据广播功能的方法

孙博, 冯永浩, 卢虎, 陈坤

(空军工程大学信息与导航学院, 西安, 710077)

摘要 基于塔康信标发射信号占空比低的现状, 提出扩展信标数据广播功能。通过分析系统信号格式, 计算信标数据广播可用时间间隙。设计了一种广播信标识别码和坐标数据的方法, 将数据按固定消息格式编码为脉冲序列, 插在主基准群后播发, 使信标可同时提供定位与数据广播服务。经仿真分析, 增加该数据广播功能后, 信标测距应答概率仅降低0.2%, 发射信号带宽保持在300 kHz内, 测位精度没有发生变化。

关键词 塔康信标; 数据广播; 通信导航一体化

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2015.04.020

中图分类号 TN965 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2015)04-0084-04

A Method of Adding Data-broadcast Function on Tacan Beacon

SUN Bo, FENG Yonghao, LU Hu, CHEN Kun

(Information and Navigation College, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: After analysis of Tacan signal structure, an idea of adding data-broadcast function on Tacan beacon is proposed in view of low occupancy rate of uplink channel. The maximum time can be used for broadcasting data per second is estimated according to response probability. A method of broadcast identification code and geodetic coordinate of beacon is then designed, in which information is encoded as pulse train and inserted after main reference pulse group. The simulation and analysis results show that the method has no influence on angle measurement performance, and the bandwidth of signal radiated by beacon maintains within 300 kHz. The response probability of beacon is merely reduced by 0.2% when the data broadcasting function is added.

Key words: Tacan beacon; data-broadcast; integration of communication and navigation

近年来,塔康系统的应用进一步发展:塔康/INS的组合导航^[1]、使用塔康的区域导航相继被提出,显示出塔康系统蓬勃的生命力^[2]。

用塔康系统进行区域导航需要将信标坐标存入飞行管理系统(FMS)中^[3]。固定式信标坐标不变,在飞行前已知,但战时易受火力打击。机动式信标

建台快速灵活,可有效避免打击,但尚没有即时获取其位置信息的方便途径。

塔康信标的识别信号为键控“摩尔斯电码”,每37.5 s发播一次,飞行员通过监听信号判别信标身份。目前的识别体制存在缺陷:①37.5 s 1次的识别周期过长,影响飞机首次定位速度;②要求飞行员

收稿日期:2014-12-22

作者简介:孙博(1991—),男,陕西澄城人,硕士生,主要从事航空无线电导航研究.E-mail:sunbo_66@163.com

引用格式:孙博,冯永浩,卢虎,等.一种塔康信标扩展数据广播功能的方法[J].空军工程大学学报:自然科学版,2015,16(4):84-87. SUN Bo, FENG Yonghao, LU Hu, et al. A Method of Adding Data-broadcast Function on Tacan Beacon[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2015, 16(4): 84-87.

熟练掌握“摩尔斯电码”,分散飞行员精力;③识别信号无法通过计算机系统处理。

1 塔康信标数据广播能力分析

本文基于塔康 X 模式研究,编码参阅文献[4]。根据信号格式,塔康信标主基准群持续时间 t_1 为 350 μs ,辅基准群持续时间 t_2 为 140 μs ,每个高斯脉冲对持续时间 t_3 为 20 μs 。通过式(1) 计算回答状态上行信道占空比 D 仅为 7.605%,可以添加一定量的用于数据广播的脉冲信号。

$$D = (15t_1 + 120t_2 + 2\ 700t_3) / 10^6 \quad (1)$$

1.1 数据广播可用间隙

塔康测距时,要求信标对每架飞机询问信号的回答概率不低于 70%。回答概率主要受系统信号特性制约:①主、辅基准群优先级高于回答脉冲,发射主、辅基准群期间无法对测距询问进行回答;②信标接收机每输出一个询问脉冲或随机填充脉冲,都要封闭一段时间(寂静时间),以使接收机恢复;③信标发射机发射脉冲时,封闭接收机避免对其造成干扰,并减少二次反射信号的影响。

发射主辅基准时接收机封闭时间比基准群持续时间长 100 μs 左右,发射主辅基准的接收机封闭时间 τ_1 、 τ_2 分别为 450 μs 、240 μs 。假设某架飞机每秒询问 n 次,信标对其回答概率为 P 。信标每秒输出的 2 700 个回答和随机填充脉冲中,只有 nP 个是对该机的回答脉冲,其余每个脉冲所造成的寂静时间 $\Delta\tau$ 是接收机对该飞机询问信号的封闭期, $\Delta\tau$ 值为 60 μs 。所以每秒可接收该机询问信号的时间见式(2)。信标对某架飞机的最高回答概率见式(3)^[5]。

$$\begin{cases} T = 10^6 - (15\tau_1 + 120\tau_2) - (2\ 700 - nP)\Delta\tau \\ T = 10^6 P \end{cases} \quad (2)$$

$$P = (10^6 - (15\tau_1 + 120\tau_2) - 2\ 700\Delta\tau) / (10^6 - n\Delta\tau) \quad (3)$$

处于搜索状态的飞机,每秒询问次数 100,信标对其回答概率为 80.73%;处于跟踪状态的飞机,每秒询问次数 30,信标对其回答概率为 80.39%。

给信标添加数据广播功能将增加接收机封闭时间,降低回答概率。设回答状态每秒用于广播数据时间 τ_b ,则信标对某一架飞机的回答概率为:

$$P_b = \frac{10^6 - (15\tau_1 + 120\tau_2) - 2\ 700\Delta\tau - \tau_b}{10^6 - n\Delta\tau} \quad (4)$$

为保证测距回答概率高于 70%,应限制每秒数据广播的时间。对回答概率较低的跟踪状态,当 P_b 降至 70% 时,利用式(5) 求得信标每秒可用于广播数据的时间为 103 710 μs 。

$$\tau_b = 10^6 - (15\tau_1 + 120\tau_2) - 2\ 700\Delta\tau - (10^6 - n\Delta\tau)P_b \quad (5)$$

1.2 数据广播信道容量

为避免对塔康系统频谱特性的影响,广播信息的带宽 W 为 300 kHz。接收机接收信号信噪比为 10 dB。由香农公式可计算信道容量 C 为 107 633 bps。该值为理想情况下每秒可广播的最大信息量,实际传输速率受数据消息格式的制约。

$$C = W \log_2(1 + S/N)\tau_b \quad (6)$$

2 塔康信标数据广播方法设计

2.1 数据广播内容编码

信标广播数据可包括信标识别码和大地坐标,编码为二进制形式。为使数据广播占用尽量少的的时间资源,数据应以最少二进制位数表示。

表 1 中,信标识别码由 3 个英文字母组成,26 个字母依次标号 1~26,需用 5 位二进制数表示。由此,信标识别码需要 15 位二进制数表示。

信标位置坐标有大地经纬度 L 、 B 和高 H 。由于塔康系统定位存在约 200 m 的测距误差,纬度 1" 对应的地面距离为 30.8 m,处于 β 纬度的经度 1" 对应的最大值也是 30.8 m,因此塔康信标经纬度精确到秒即满足应用需求,而信标高度精确到米即可。用正数表示东经和北纬,负数表示西经和南纬。“度-分-秒”格式下,经、纬度范围分别为 $-180^\circ 00' 00'' \sim 180^\circ 00' 00''$ 、 $-90^\circ 00' 00'' \sim 90^\circ 00' 00''$ 。为减少表示经纬度所需二进制位数,将其转为“秒”格式,数据范围见表 1。经度、纬度、高度数据首位表示数据正负(0 为正,1 为负),之后为数值二进制码(BIN 码),总位数分别为 21 位、20 位、15 位。

表 1 信标广播数据的内容及格式

Tab.1 Data broadcasted by beacon

广播内容	数据格式	数据范围	二进制位数
识别码	3 个字母	AAA~ZZZ	15 位
经度/"	± ssssss	-648000~648000	21 位
纬度/"	± ssssss	-324000~324000	20 位
高度/m	± hhhh	-500~9999	15 位

2.2 数据广播消息格式

根据表 1,每次广播数据量为 71 位,从导航应用需求考虑,可将信标数据广播频率设定为 1 s 1 次,每 15 次主基准群之后,插入一次数据消息。图 1 是消息数据全“1”的示意,消息共 74 位:前 3 位始终为 1,作为同步头;其后为信息位,包括 15 位识别码、21 位经度、20 位纬度、15 位高度数据。采用开关键控(OOK)数据调制方式。时隙间隔 27 μs ,区

别于主、辅基准群的 30 μs 和 24 μs。脉冲对使用 X 模式基本编码,一条消息持续时间为 1 998 μs。

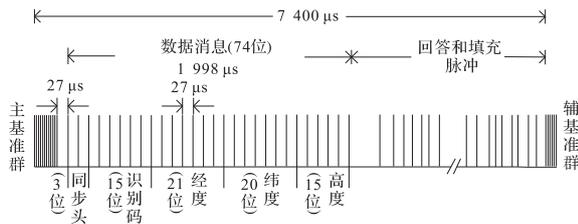


图1 数据消息格式

Fig.1 Message format of broadcasted data

$$R_b = \tau_b / 27 \tag{7}$$

上述消息格式下,每位二进制数据占用 27 μs,根据式(7), τ_b 取 103 710 μs 时,每秒最多可传输二进制数据 3 841 位。由于所广播的信标识别码和大地坐标为固定数据,不会发生变化,因此没有引入纠错机制。当广播实时变化的数据时,可以在信息位后加入校验位,采用 RS 码或卷积码降低误比特率。

图 2(a),0~350 μs 为主基准群,7 400~7 540 μs 为辅基准群,其余为随机填充脉冲。图 2(b)是添加数据消息后主辅基准群间信号波形,同图 4(a)相比,主辅基准群位置不变,350~2 348 μs 为数据消息,其余为随机填充脉冲。

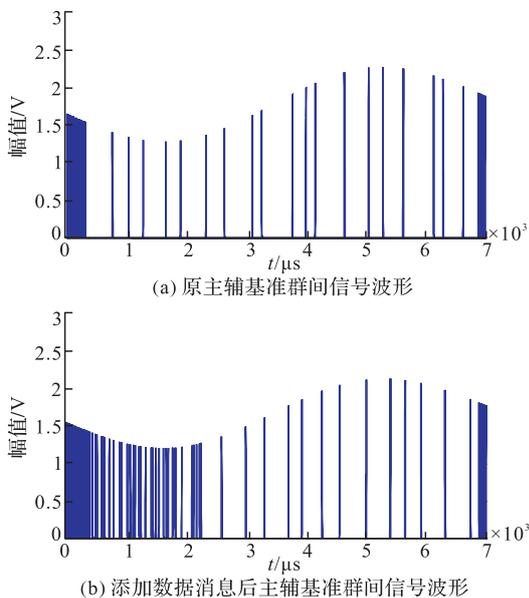


图2 扩展数据广播功能前后主辅基准群间信号波形比较

Fig.2 Comparison of signal between main and auxiliary reference pulse group with that after adding data-broadcast function

2.3 数据广播实现方法

为增加数据广播功能,需对信标编码器进行改动。原信标编码器输入信息为来自接收机的回答/填充脉冲和来自识别产生单元的 1 350 Hz 识别/平衡脉冲。自动电码键产生的“摩尔斯电码”点划驱动优先门,在识别状态输出识别信号。编码模块完成 X/Y 模式的基本编码,将矩形单脉冲编为矩形脉冲

对。产生的主辅基准群通过控制封门保证最高优先级,最后将合成信号送至发射机^[6]。图 3 中,增加广播数据编码单元,将信标识别码和坐标按格式编码为数据脉冲对序列。该单元由主基准触发脉冲和自动电码键“点划”驱动;每输入 15 次主基准触发脉冲输出 1 次数据消息,并确保数据消息在主基准群之后插入,数据消息第一脉冲对与主基准最后一个脉冲对间隔为 27 μs;自动电码键输出“点划”时不发送数据消息,以确保识别信号的优先级。

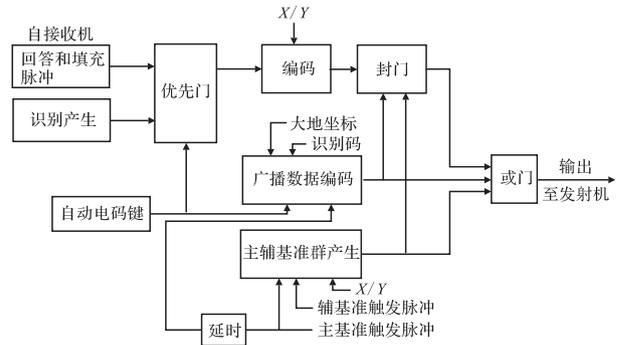


图3 增加数据广播功能的信标编码器方框图

Fig.3 Block diagram of beacon encoder with data-broadcast function

机载设备接收机部分,增加广播数据解码单元,其功能是:监测主基准群之后的脉冲对,若连续出现 3 个间隔 27 μs 的脉冲对,认定为消息同步头,其后脉冲序列作为数据,解码后送入数据处理计算机,提供给相应导航设备配合工作。

2.4 数据广播对系统原功能的影响

按 2.2 的数据编码格式,每秒广播数据占用时间为 1 998 μs。据式(4),信标对搜索的回答为 80.53%;对跟踪状态飞机的回答概率为 80.19%。同系统原回答概率相比,仅降低 0.2%,满足高于 70%的要求。

另外,从信号频谱特性分析,图 4 是添加数据消息后 1 个主基准群周期(1/15 s)内信标发射信号的频谱。分别计算不同带宽内信号能量占总能量的百分比,见表 2。其频谱形状和能量分布变化微小,99%的能量仍集中在 300 kHz 内。

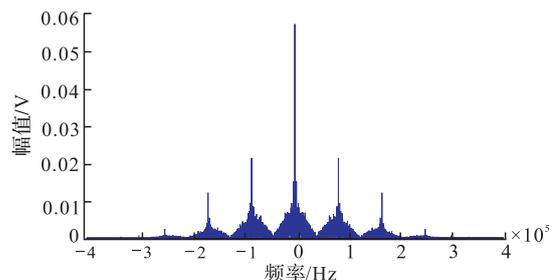


图4 添加数据消息后信标发射信号频谱

Fig.4 Spectrum of signal radiated by TACAN beacon with data-broadcast function

表 2 信号能量分布情况

Tab.2 Distribution of signal power

带宽/kHZ	原带内能量/%	添加后带内能量/%
50	45.55	45.68
100	87.69	87.60
150	93.29	93.43
200	99.55	99.55
250	99.86	99.86
300	99.99	99.99

数字化塔康系统可以使用曲线拟合的方法估计方位^[7-9]。文献[10]提出一种塔康方位估计方法:首先通过搜索峰值得到包络信号,然后基于最小二乘迭代算法解算方位参数。图 5 是使用该方法在不同信噪比下的方位估计误差,可以看出添加广播数据消息后对方位估计精度基本没有影响,在信噪比 5 dB 时估计误差为 0.305°,符合塔康 1°精度要求,信噪比高于 14 dB 时,估计误差稳定在 0.15°附近。数据消息插入影响随机填充脉冲的分布,但数据消息脉冲对间隔远小于随机填充脉冲对平均间隔,使其包络更加平滑,对测位精度没有影响。

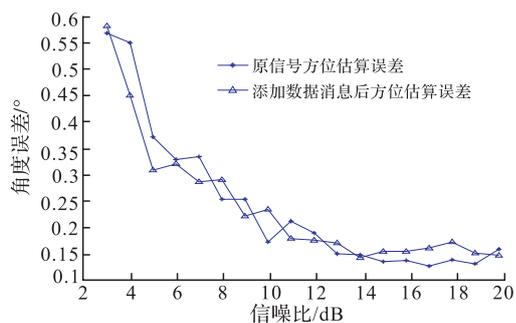


图 5 不同信噪比下方位解算误差

Fig.5 Azimuth estimation error in different SNR settings

3 结语

本文通过分析塔康系统信号格式,初步计算了信标数据广播能力,提出一种扩展信标数据广播功能的方法。仿真和分析表明,信标以该方法广播识别码和位置后,测距应答概率仅降低 0.2%,信号带宽仍然保持在 300 kHz 内,测位精度没有发生变化。可以看出,塔康信标现有的信号体制完全可以扩展数据广播功能,这里仅就利用地面信标发播信标识别码、坐标数据进行了探讨,其实际可发播的数据容量并没有充分利用,有待进一步分析研究,以便利用地面信标广播更多的导航信息。塔康系统采用脉冲调制体制,信标发射功率大,抗干扰能力较强,增加数据广播功能应用前景广阔。同时,塔康机载设备发射询问脉冲,未含其它信息,同样可考虑增加下行的数据回传功能,如飞机代码、位置等,以充分利用频带资源。

参考文献(References):

[1] Kaniewski P. Integration of INS with TACAN and Altimeter[J]. Molecular and Quantum Acoustics,2007,28:165-177.

[2] 赵小华,曹勇,乔凤卫. 航空导航技术的发展方向[J]. 火力与指挥控制,2013,38(6):6-7.
ZHAO Xiaohua, CAO Yong, QIAO Fengwei. Development of Aero Navigation Technology[J]. Fire Control & Command Control,2013,38(6):6-7. (in Chinese)

[3] 李晓东,赵修斌,王啸. 用塔康系统的区域导航定位算法[J]. 光电与控制,2012,19(12):84-88.
LI Xiaodong, ZHAO Xiubin, WANG Xiao. An Area Navigation Approach Based on Tactical Air Navigation System[J]. Electronics Optics & Control,2012,19(12):84-88. (in Chinese)

[4] 周振国. 塔康系统关键技术与塔康测位的实现[D]. 西安:西安电子科技大学,2012.
ZHOU Zhenguo. Research on Key Techniques of TACAN System and Implementation of TACAN Bearing[D]. Xi'an: Xidian University, 2012. (in Chinese)

[5] 张忠兴,李晓明,张景伟,等. 无线电导航理论与系统[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1998.
ZHANG Zhongxing, LI Xiaoming, ZHANG Jingwei, et al. Radio Navigation Theory and System[M]. Xi'an: Shaanxi Science & Technology Press,1998. (in Chinese)

[6] 吴德伟. 航空无线电导航系统[M]. 北京:电子工业出版社,2010.
WU Dewei. Aeronautical Radio Navigation System[M]. Beijing: Electronic Industry Press,2010. (in Chinese)

[7] ZHANG Bin, WANG Weikang. Research on Accurate Measurement Method of TACAN Azimuth Based on Curve Fitting[C]//5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009.IEEE, 2009: 1-4.

[8] 陈坤,田孝华,何晶,等. 一种基于 Huber 函数的塔康方位稳健估计算法[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2013,14(6):18-22.
CHEN Kun, TIAN Xiaohua, HE Jing, et al. A Robust Estimation Algorithm of TACAN Azimuth Based on Huber Function[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2013, 14(6): 18-22. (in Chinese)

[9] 彭大国,李治安,李晓明,等. 塔康高精度测角及抗野值研究[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版,2014,(4):483-487.
PENG Daguo, LI Zhian, LI Xiaoming, et al. Accurate Angle Measuring and Outliers Restraining of TACAN[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications; Natural Science Edition, 2014, (4):483-487. (in Chinese)

[10] 陈坤,田孝华,赵颖辉,等. 基于最小二乘迭代算法精确估计塔康方位参数[J]. 科学技术与工程,2013,13(15):4176-4180.
CHEN Kun, TIAN Xiaohua, ZHAO Yinghui, et al. Accurate Estimation for TACAN Azimuth Based on Iterative Least Square Algorithm[J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(15): 4176-4180. (in Chinese)

[11] 冯永浩,李云,孙博.塔康系统扩展数据通信功能技术途径研究[J].空军工程大学学报:自然科学版,2015,16(2):49-52.
FENG Yonghao, LI Yun, SUN Bo. Technological Approaches Research for TACAN System Expanding Digital Communication[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2015, 16(2): 49-52. (in Chinese)

(编辑:姚树峰)