

塔康系统扩展数据通信功能技术途径

冯永浩, 李云, 孙博

(空军工程大学信息与导航学院, 西安, 710077)

摘要 通过分析塔康系统功能和信号格式, 根据其信号占空比很低的状态, 提出在不影响塔康系统现有导航功能和信号体制下, 增加数据通信, 并对主要限制因素和需解决的主要技术问题进行分析, 探讨了可能的技术途径, 指出了开展相关具体研究论证工作的方向。

关键词 塔康系统; 数据; 通信

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2015.02.011

中图分类号 TN965.7 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2015)02-0049-04

Technological Approaches Research for TACAN System Expanding Digital Communication Function

FENG Yong-Hao, LI Yun, SUN Bo

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

Abstract: According to the fact that TACAN system has low duty ratio via analysis of its function and signal, this paper proposes a new task of expanding digital communication function without influencing the existing navigation function and the signal format of the TACAN system. The main limiting factors and technical problems which must be solved are analyzed. This paper discusses the possible technological approaches and points out the direction of concreteness study.

Key words: TACAN system; data; communication

虽然航空无线电导航系统具有技术体制相对稳定的特点, 但自无线电技术应用于航空导航领域以来, 出现过的众多系统经过应用实践, 逐步优胜劣汰, 目前保留的仅有十余种。随着航空导航保障要求的提高, 现有航空无线电导航系统如何改进完善以面对卫星导航、组合导航等新的导航方式的挑战, 是需要重视的研究问题。

塔康系统(TACAN)是一种应用成熟的具备极坐标定位能力的近程航空无线电导航系统, 通过地面信标与相应机载设备间信号收、发配合, 可由机上

测量出相对地面信标的距离、方位值, 从而确定飞机相对地面信标的位置; 在已知信标地理坐标情况下, 机上设备通过坐标变换可获得飞机的经、纬度。

塔康系统采用机上主动导航方式, 由机载设备接收测量某一信标信号获得定位数据, 地面信标只配合发射距离、方位和信标识别信号, 地面无法获得飞机位置信息。

塔康系统的特点是利用地面信标可实现单台定位^[1], 一个地面信标可同时为100架左右飞机提供定位信息, 作用距离400~500 km(视发射功率不

收稿日期: 2015-01-15

作者简介: 冯永浩(1963—), 男, 江苏无锡人, 教授, 主要从事军用航空无线电导航技术研究. E-mail: Fyh00@163.com

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

同)。如果在地面合理布设信标台,可形成覆盖全国的塔康导航网络。同时,塔康信标还可部署到岛屿、大型船只、飞机上,作用范围将更为广阔。

塔康系统中地面信标和机载设备间虽进行双向通信,但仅限于导航功能,且飞机测得的定位信息并不下传地面。作为一种可提供飞机位置信息的定位导航系统,定位数据是宝贵的信息资源,如果在进行导航过程中,利用既有通信过程,在不影响原有导航功能情况下,一方面,将飞机获得的位置数据实时回传地面信标,将扩展地面掌握空中态势的信息来源,为增强指挥控制能力提供有力支持;另一方面,通过地面信标发送信标坐标和识别代码等数据,为机动导航、区域导航提供更丰富、准确的导航数据。

在塔康系统工作的频段中,开发和应用过数据链系统、通导兼备数传系统等。前者采用全新的通信和信号体制,专注于空情和协同数据传输;后者则利用与塔康系统相似的信号体制,传送格式化指令,不能同时兼顾通信与导航。因此,在塔康系统现有导航功能前提下,扩展新的功能,加强其导航应用能力,有一定的发展空间。

1 扩展数据通信的可行性分析

1.1 现有信号格式

塔康系统采用脉冲编码调制方式发射信号。地面信标发射的脉冲序列中包括主、辅基准脉冲,接收机载测距询问并译码后给出的回答脉冲,以及随机填充脉冲,脉冲总数为 7 200 个/s。系统采用脉冲对基本编码方式,分 x 、 y 2 种模式,单个脉冲为高斯形包络调制载波^[2], x 模式脉冲序列如图 1。

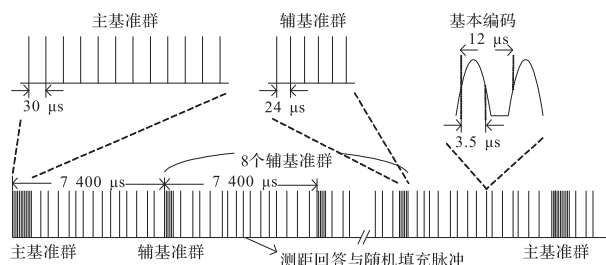


图 1 塔康信标输出脉冲序列格式示意图

Fig.1 Output impulse sequence of TACAN beacon diagram

机载设备以 25~100 p/s 的速率发射测距询问脉冲,接收地面信标发射的脉冲序列信号(该信号经信标天线辐射时实现了幅度调制),通过处理,分别测量电台方位、信标斜距数据,完成极坐标定位。

机载设备与地面信标通过选择相同的工作波道实现通信,同时,地面信标还定期广播识别代码,每 30~40 s 发射一次,用规定的莫尔斯代码表示,用时

5~8 s,在此期间,只发射主、辅基准脉冲和特定格式的识别脉冲,不进行测距回答。

从塔康系统的工作方式和信号格式中可看出,其信号占空比很低,地面信标仅为 4%左右,机载设备更是仅为 0.1%左右;即使考虑地面信标每次发射脉冲后有约 60 μs 的封闭时间,增加约 17%的占用时间,仍有约 80%的空闲时间。

塔康系统地面和空中设备发射的脉冲信号不携带更多的信息。其主、辅基准群脉冲主要用于测角中标示北向参考,回答脉冲用于配合机载的测距询问,而填充脉冲则用于使脉冲序列包络较为光滑,保证测角调制信号的精度。机载设备发射的周期性脉冲对,利用载频和脉冲间隔标示工作波道和模式,用于测距询问。

1.2 主要因素分析

根据塔康系统信号格式特点和各类脉冲的作用,在其上行、下行通信链路中分别扩展数据传输功能具备基本的条件,可以充分利用现有通信资源。由于塔康系统已具有较稳定的信号格式,因此,兼容性扩展数据通信,需要考虑以下技术因素:

1.2.1 数据信息位置

塔康系统要求^[3],地面信标按照主辅基准群脉冲、测距回答脉冲和随机填充脉冲的优先顺序发射信号;各机载设备随机发出测距询问信号,在对同一信标的询问较多时,采用近者优先原则获得测距回答。在上行中增加的数据信息,需要考虑在适当的位置加入而不影响系统测距、测角信号的正常工作。

塔康系统下行信号格式虽然简单,但增加定位数据信息后,受到的约束或需兼顾因素却较多,如:同一信标的多个下行数据信号区分与识别、每个测距询问信号(DL)后信标接收机封闭对数据完整性的影响等。信标接收下行脉冲见图 2。

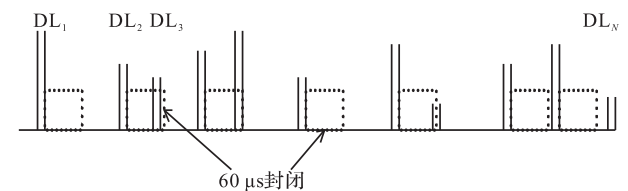


图 2 塔康信标接收下行询问脉冲示意图

Fig.2 Downlink interrogation signal received by TACAN beacon diagram

1.2.2 数据信号格式

塔康系统现有信号均是对载波进行钟形包络脉冲调制,不同信号通过脉冲编码区分,并对输出信号频谱有一定要求。因此,增加的数据通信信号要满足原系统的射频特性要求,不改变系统原信号基本体制,同时,插入或增加的数据信号还应便于与导航

信号进行区分和处理,具体信号格式应结合信标和机载信号处理方式进行分析比较。

1.2.3 对原有功能和性能的影响

在增加数据通信能力后,不能影响系统原有的功能和性能,主要包括方位测量精度、测距回答效率和测距精度、信标识别等,也包括不影响地面信标和机载设备原有功能信号的处理方式,如译码方式、各种脉冲分离、脉冲定时点位置等。同时,要做到导航、通信兼容一体,不影响机载设备的使用方式。

1.3 扩展方式分析

增加数据传输功能涉及多方面的要求,需要综合分析考虑后,才能确定合理的扩展方式。根据塔康系统信号体制和技术要求,对地面信标和机载设备可采取的扩展方式进行初步分析。

1.3.1 地面数据广播

地面信标增加数据广播,从导航需要考虑,主要包括信标地理位置(经纬度、海拔高度)、识别代码等,如果通信速率允许,还可考虑发播其他与导航相关的数据,如定位数据回传指令、差分校正数据等。

在地面信标上行链路中增加数据广播,可有多种方式。第一种方式考虑利用信标现有空闲时间插入一定容量的信息,即把数据广播顺序放在现有信号之后,这样会增加信标发射脉冲总数,对系统方位测量有利,但也增加信标发射负荷;第二种方式可利用原有的随机填充脉冲位置,用广播数据替代,即数据脉冲优先于随机脉冲,此时要求数据脉冲具备随机特性,且数据脉冲与测距回答脉冲存在一定冲突;第三种方式还可以在其他的位位置插入,如主、辅基准脉冲后,这样位置固定,便于后续处理,但要尽量降低对测距回答脉冲的影响。3种插入方式见图3。



图3 地面信标广播数据可插入方式

Fig. 3 Possible insert mode of ground beacon broadcast data

1.3.2 机载定位数据下传

塔康机载设备下传数据可包括飞机代码、当前测距测位数据等,以报告自身位置为主。由于一个地面信标需要与多个机载设备配合,因此,每个机载设备下传的数据量不宜过多。

根据塔康机载设备测距询问速率,在测距跟踪状态为 25 p/s 左右,脉冲间隔很大,可在每对询问脉冲后,安排定位数据下传,但要考虑由于多机竞争关系,每次询问不能保证都被地面信标所接收。如

果按地面信标最低 70% 的回答概率计算,机载设备在跟踪状态每秒至少下传 2 次以上定位数据,才能保证被地面信标接收到一次。由于不能增大机载设备功率负荷,因此,增加的发射脉冲数量需要进行控制,定位数据需要高效编码。

通过以上分析,说明利用塔康系统现有通信过程扩展数据传输功能具备基本条件和途径。但由于其导航功能对信号格式、处理流程的特殊安排和要求,使得增加的数据信息适应塔康地面和机载设备既有工作方式是特别需要考虑的问题。

2 关键问题分析

2.1 数据通信容量

塔康系统工作在 L 波段,波道间隔 1 MHz,脉冲调制信号带宽 B 一般为 300 kHz 左右,接收机接收通道的电压信噪比约为 10 dB,根据香农定律^[4]:

$$C = BT \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

可计算出在允许的传输数据信息时间 T 内,通信容量的最大值。

由于已存在导航功能信号,因此,用于传输数据信息的时间将受到限制,需要根据不同的回答概率和其他限制因素,分析可用于数据发射的时间,计算最大数据通信容量。

通过数据通信容量的计算,再考虑实际应用时的有关约束,可得到增加数据通信的可用容量,进而确定发送的数据消息内容、格式等。

2.2 编码与调制方式

塔康系统现有的信号编码方式不适于数据信息表达。当利用现有信道传输数据时,需要根据数据通信要求,在满足一定误码率条件下,分析研究数据的基本编码、纠错编码方式等,保证数据可靠接收。

塔康系统目前发射信号采用脉冲包络调制,类似于 OOK 调制,增加数据传输后,数据信息的调制方式需要研究。数据通信常用的 BPSK、QPSK、MPSK、QAM 等都可以作为可选的调制方式进行分析和仿真,要按照误码率 P_e 计算方法,即:

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{1}{2} \sqrt{\rho} \right) \quad (2)$$

推导上、下行通信各自不同信号格式的信噪比 ρ ,分析误码特性,比较不同调制编码方式的优劣,以期获得满足塔康系统限制要求和一定传输速率下的最佳传输效果。

2.3 兼容性问题

在塔康系统中扩展数据传输必须要考虑兼容性

问题,主要是:

2.3.1 工作方式的兼容

即在保证导航功能正常条件下,同时进行数据传输,不改变原导航信号波形、处理方式和机载设备使用方式等。这些涉及到数据信号的调制方式、插入方式、通信流程和处理方法等,需要理清塔康信标、机载设备现有信号处理流程和主要方法,采用异于原有导航功能脉冲的调制方式和编码格式,并通过必要的功能仿真,验证兼容效果,使数据信号采用专门的处理途径和方法,防止通信与导航功能间产生冲突。

2.3.2 设备电磁兼容性

即在原有信道中,增加了数据传输后,不超出原有射频技术要求,不造成对导航信号的干扰和影响。解决兼容问题是研究塔康系统扩展数据传输功能的核心,分析研究数据信号格式、编码方式和调制方式等问题,都是以通信、导航兼容为根本,上述问题的论证、仿真等,都应以保证兼容为原则,验证有关的指标和信号处理方法。

2.3.3 与其他系统的兼容

塔康系统扩展通信功能后,不能对工作在同一频段上的其他军民用通信、导航系统产生影响,需要收集了解相关系统的信号格式和性能要求,在塔康系统扩展数据通信的调制方式、编码格式等方面与其他系统有所区别,并避免可能产生的影响。

3 结语

随着卫星导航的快速发展,导航战愈发受到重视,围绕卫星导航的干扰与抗干扰,如何使传统导航手段更好发挥作用也成为面临的重要问题^[5]。

塔康系统技术体制是20世纪40年代设计确定的,受当时相关应用技术水平、实际需求等的限制,采用的编码和调制方式对信道频率资源的利用较低,功能单一。随着电子技术水平的提高,导航需求的增加,对原有系统的能力挖掘和利用成为提升传统导航手段作用的迫切需要。

在L波段工作的系统众多,如数据链系统、军用IIF和民用SSR应答器、卫星通信和导航系统、雷达系统等,频率资源紧张。同时,相应的通信技术

应用也较为成熟。因此,在不改变塔康系统导航信号体制和工作方式的前提下,增加数据通信传输功能完全可行。初步的分析表明,扩展塔康系统数据传输功能具备必要的基础条件,但具体的数据通信信号格式、编码调制方式、通信流程等,需要经过分析、仿真比较,使新功能与原有功能很好结合。

在不断提高技术性能基础上扩展新功能是促进传统导航手段发展的方向。针对塔康系统功能扩展,应围绕实际需求,论证研究数据传输的应用需求、与相关系统的信息关系,开展关键技术的研究和试验等,以现有设备结构为基础,研究数据通信部分的硬件结构和信号关系,提出现有设备改造的可行性方案和技术途径,为工程性研究奠定基础。

参考文献(References):

- [1] 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 Technology Press, 1998. (in Chinese)
- [2] 陆治纲.塔康地面设备兼容数据发播分析[J].现代导航,2012,(5):338-341.
LU Zhigang. Analysis on Data Sending Compatible with TACAN System[J]. Modern Navigation, 2012, (5):338-341. (in Chinese)
- [3] 周振国.塔康系统关键技术的研究与塔康测位的实现[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)
- [4] 樊昌信,曹丽娜.通信原理[M].北京:国防工业出版社,2006.
FAN Changxin, CAO Lina. Principles of Communications[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006. (in Chinese)
- [5] 王芳,刘兴,周海瑞.导航战挑战与对策分析[J].指挥信息系统与技术,2014(4):20-25.
WANG Fang, LIU Xing, ZHOU Hairui. Challenge and Countermeasure for Navigation Warfare[J]. Command Information System and Technology, 2014(4):20-25. (in Chinese)

(编辑:姚树峰)