

## 基于 FPGA + DSP 的 TACAN 信号检测仪设计

姜力茹<sup>1</sup>, 任建辉<sup>1</sup>, 许云达<sup>1</sup>, 张斌<sup>2</sup>

(1. 空军大连通信士官学校, 辽宁 大连 116600; 2. 空军工程大学信息与导航学院, 西安 710077)

**摘要:** 针对目前塔康(TACAN)设备外场测试能力欠缺的问题,设计了一种以FPGA为控制处理核心、DSP实现信息二次解算、嵌入式组态软件完成人机界面搭建的TACAN信号检测系统。分析了系统的硬件和软件组成,给出了具体的软件流程图,重点介绍了检测仪通信模块设计、角度和距离检测过程并提出了改进算法。系统充分利用FPGA高速采样、并行处理和DSP的实时计算能力,实现了测量参数快速计算及显示控制。从大量外场试验分析得出,该检测系统测试精度高、运行稳定可靠,提高了TACAN设备的维护和使用水平,具有一定工程应用价值。

**关键词:** TACAN信号检测; FPGA; DSP; 人机界面

**中图分类号:** TP319 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2016)10-0066-05

## Design of a TACAN Signal Detection System Based on FPGA + DSP

JIANG Li-ru<sup>1</sup>, REN Jian-hui<sup>1</sup>, XU Yun-da<sup>1</sup>, ZHANG Bin<sup>2</sup>

(1. Dalian Air Force Communication NCO Academy, Dalian 116600, China;

2. School of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** To solve the problem that the TACAN equipment has limited capacity of field test, a TACAN signal detection system was designed by taking FPGA as the core of the control system, using DSP to implement the secondary information decoding, and an embedded configuration software to build the Human-Machine Interface (HMI). In this paper, the hardware and software composition is presented, and the software flow chart is given. The communication module design and angle/distance detection process are described with the improved algorithms. The system makes full use of capabilities of FPGA in high-speed sampling and parallel processing and of DSP in real-time computing, thus to realize rapid calculation and display control. The experiment result shows that the design has a good test precision, and it can improve the level of the maintenance and service, which is valuable in engineering.

**Key words:** TACAN signal detection; FPGA; DSP; human-machine interface

### 0 引言

塔康(Tactical Air Navigation, TACAN)中文名称是“战术空中导航”,属于近程无线电导航系统,是航空最主要的导航装备之一<sup>[1]</sup>,主要由TACAN信标和机载设备组成。其中,TACAN信标是TACAN系统的地面部分,它与机载设备互相配合为航空目标提供距离、方位、信标台识别等信息,从而实现相对极坐标定位<sup>[2]</sup>。

TACAN系统信标台功能齐全,信号交联关系复杂,当设备发生故障时,信标台很多电路板的脱机检查难以实现,需要设备现场联机进行参数调整,恢复系统指标<sup>[3]</sup>。因此,实现TACAN信标台设备故障快速准确定位、缩短故障修复时间对保证飞行安全具有重要的研究意义。

针对目前TACAN系统无外场检测能力的问题,结合中频数字化处理技术,设计出了一套数字化TACAN信号检测系统,主要完成信标台的角度制导信号和测距应答信号质量检测、组件通信和人机界面设计等功能。试验结果表明,研制的检测系统能够精确测量每一个信号的详细参数和发生时间,可以引导快速排除故障,提高装备的维修保障能力。

收稿日期:2015-06-08

修回日期:2015-10-13

基金项目:国家自然科学基金(61273049)

作者简介:姜力茹(1991—),女,山东烟台人,硕士生,研究方向为导航信号处理。

### 1 系统硬件设计

TACAN 信号检测仪主要由收发通道、视频信号处理模块(包括角度测量和距离测量单元)、控制显示模块、L 波段天线及天线支架和电源模块组成,系统总体结构如图 1 所示。

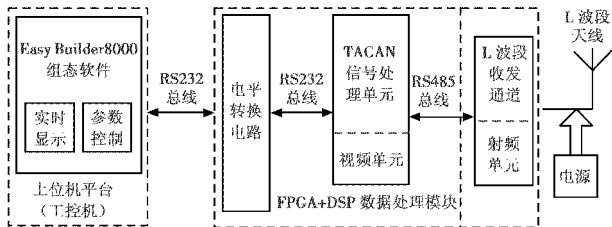


图 1 系统总体结构

Fig. 1 General structure of the system

#### 1.1 收发通道设计

收发通道用于射频信号的产生、发射和接收。发射通道为上变频器,来自距离测量单元的测距询问脉冲送到调制器,对频率合成器产生的 L 波段载波进行调制,形成测距询问信号,经过放大滤波,将信号放大到一定功率经过环形器送到天线辐射出去。收通道为下变频器,天线接收的 TACAN 地面设备发射信号经过环形器进入收通道,经滤波、低噪声放大和混频后变为 63 MHz 中频信号,再经过对数检波得到脉冲包络信号,最后送入视频信号处理模块。收发通道组成如图 2 所示。

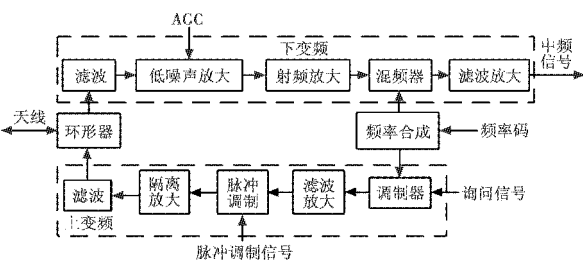


图 2 收发通道组成框图

Fig. 2 Constitution of receiving and transmitting module

#### 1.2 视频信号处理模块

视频信号处理模块如图 3 所示。

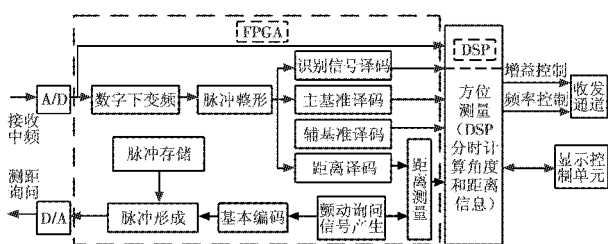


图 3 视频信号处理模块设计

Fig. 3 Design of the video processing module

采用美国 Altera 公司的 Cyclone III(EP3C120F484I7)

系列现场可编程逻辑门阵列 FPGA 芯片和 TI 公司推出的一款经典 DSP 芯片——TMS320F2812<sup>[4]</sup>。Cyclone III 系列 FPGA 芯片内部逻辑资源、存储资源、引脚资源等丰富,性价比高,具有高速采样、计算等优势,在本设计中主要用来进行信号采样、引导解算以及功能控制。TMS320F2812 芯片由 C24 系列改进而成,支持 C/C++ 语言设计,非常适合于工业控制,在算法控制上也有独特优势,具有强大的功能扩展、数据处理等优点,用它主要完成角度和距离信息二次处理、与上位机通信的指令解析,以及大量串行数据的缓冲和收发,同时作为上位机同频率合成器波道设置的数据枢纽。

此外,TMS320F2812 传输数据的电压为 3.3 V,在硬件连接时不能直接与 RS-232 串行接口连接,电平转换电路可以实现 TTL 电平到 RS-232 电平的转换,保证了通信效率和连接可靠性<sup>[5]</sup>。

#### 1.3 控制显示模块

控制显示单元采用台湾威纶通公司的 MT8070iH 系列触摸屏,使用组态软件 EasyBuilder8000 搭建人机交互界面<sup>[6]</sup>。MT8070iH 嵌入式一体化触摸屏/工控机将工控机、触摸显示屏集成到一起,确保了系统的可靠性。检测仪通过设计的触摸软键盘操作,完成状态选择、参数设置和测量值实时显示。控制显示单元与数据处理模块信号传输采用串行总线,减少了硬件组成。

#### 1.4 电源模块

电源单元由 AC-DC 模块、DC-DC 模块及锂电池组成。AC-DC 模块将交流电转换为 +12 V 直流电,一方面用于设备供电,另一方面用于电池充电;DC-DC 模块将 12 V 直流电变换为各个单元所需要的直流电源。

### 2 系统软件设计

TACAN 信号检测仪软件部分主要由数据处理模块(FPGA 软件设计和 DSP 软件设计)、通信模块、数据库管理模块、人机交互界面 4 大部分组成。

#### 2.1 数据处理模块

在已有的硬件平台基础上,依照要求设计代码效率高、运行可靠的软件程序是数据处理模块非常重要的部分。本文中,FPGA 软件设计在 Xilinx ISE 开发环境下用 VHDL 语言编写,DSP 程序在 CCS3.3 集成开发环境中用 C 语言编写<sup>[7]</sup>。

##### 2.1.1 FPGA 软件设计

角度测量单元中,FPGA 通过对收发通道送入的中频信号进行 A/D 转换得到离散化 TACAN 视频信号,随后以基准译码得到的主基准作为定时起点获得周期性脉冲(约 3000 对),最后对离散信号进行峰值检测估

计获得峰值点。

距离测量单元中, FPGA 根据通信接口送入的询问速率定时发射测距询问信号, 为了便于提取本机回答信号, 在编码前采用闪频原理产生小幅度颤动的询问信号。此时, FPGA 接收到的回答信号包括本机和他机的回答信号, 通过对相同时间段内的信号进行相关, 寻找最大值捕获本机回答信号, 随后根据飞机飞行速率和跟踪信息更新率建立跟踪门, 进行本机距离回答信号跟踪。询问和回答信号经过信号识别和时值转换送入 DSP。峰值点时值、主基准和距离译码信息等存储在双口 RAM 中, 供 DSP 读取进行二次解算。

### 2.1.2 DSP 软件设计

角度测量单元中, FPGA 数据存储完毕产生外部中断信号 INT\_X, INT\_X 信号管脚接在 DSP 外部中断接口。DSP 检测到上升沿触发后, 首先通过 SCI 串口响应中断, 接收 RAM 中的峰值数据并退出中断进行解算, 同时 IO\_2 口置低使 FPGA 停止存数据; 然后利用最小二乘在拟合峰值点获得信号包络, 进而解算角度信息送显; 最后开中断并允许 IO\_2 口置高使 FPGA 继续写数据。为了提高系统效率, 在中断空闲时刻, 采用查询方式解算脉冲宽度、上升沿、下降沿、功率等详细参数。DSP 数据处理流程如图 4 所示。

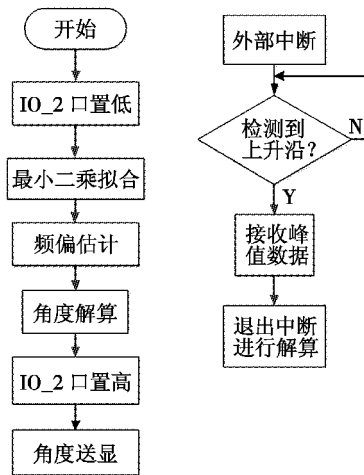


图 4 DSP 数据处理流程图

Fig. 4 Flow chart of DSP data processing

距离测量单元中, 经过时值处理的距离数据送入 DSP, 根据回答信号与询问信号时值做差得到的时间间隔换算成距离信息, 经过滤波处理送上位机显示。

### 2.2 通信模块

通信模块包括显控单元通信和射频单元通信两个部分。

#### 2.2.1 显控单元通信设计

采用通用协议标准 MODBUS 通信协议构造数据报文, 通过使能 DSP 的 SCI 模块完成触摸屏(上位机)

与 DSP 的指令发送与接收。具体流程如图 5 所示。

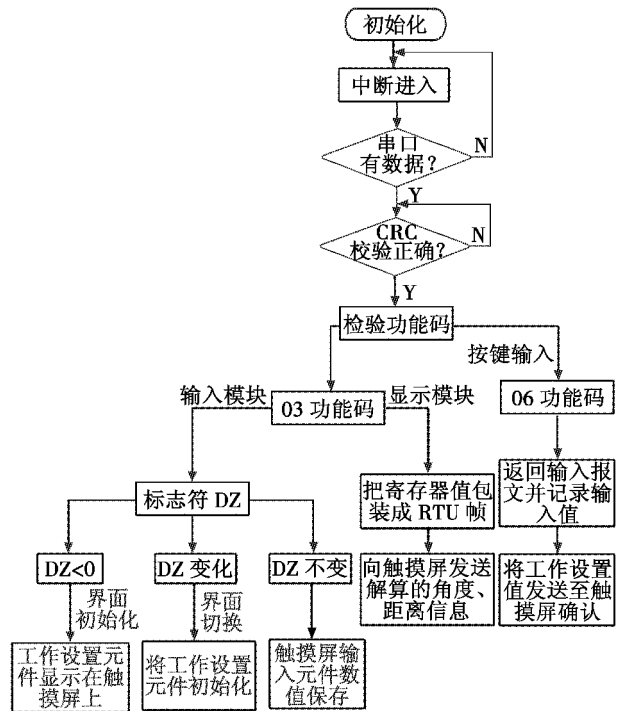


图 5 显控单元程序处理流程

Fig. 5 Program processing of display-control unit

发送复位命令完成 DSP 系统初始化, 使能 SCIA 串口的 FIFO 中断接收功能, 判断 SCIA 串口接收缓存寄存器是否有数据进入, 若没有数据继续等待中断, 若有数据则说明可以进行数据接收。进入中断后对接收的报文进行 CRC 校验降低系统数据误码率。校验成功后, 判断当前报文功能, 若串口发送 01 03 报文, 根据报文中的对应地址进行数据解算送触摸屏实时显示, 若串口发送 01 06 报文, 依据接收报文格式重组报文进行输入值确认。

#### 2.2.2 射频单元通信设计

上位机设定的波道、通道频率以及衰减按照 MODBUS 协议格式发送至 DSP 中解析, 为提高数据传输灵活性, DSP 按自定义协议格式通过串口 SCIB 发送报文至射频模块响应上位机参数设置。本设计中自定义协议格式通讯波特率为 9600, 数据位为 8 位, 停止位为 1 位, 无校验。

### 2.3 数据库管理模块

存储用于进行故障诊断的原始数据、推理过程中的中间数据和诊断结果数据, 除可以对数据进行查询、添加、删除等管理功能, 还可以对数据进行统计、分类等再组织功能。

### 2.4 人机交互界面

用户和系统之间的输入输出界面用于接收用户发出的各种指令, 根据指令调用不同子系统, 并通过串口

获得 DSP 处理结果,最后再将这些结果输出给用户<sup>[8]</sup>。在输出形式上采用文字显示、可视化图形、趋势图等多种方式,最大限度地帮助用户理解和排故。

### 3 改进的检测算法分析

峰值检测可以有效检测脉冲峰值与到达时刻,检测精度将直接影响到系统测试准确度,是实现 TACAN 信号参数正确解算的基础和关键<sup>[9]</sup>。在系统设计中考虑到现有模拟 TACAN 系统采用半幅探测电路进行峰值检测受参考电压、延迟线路和噪声等因素的影响较大<sup>[10]</sup>。本系统提出了采用基于滑动窗函数的数字化峰值检测算法,峰值检测处理流程如图 6 所示。

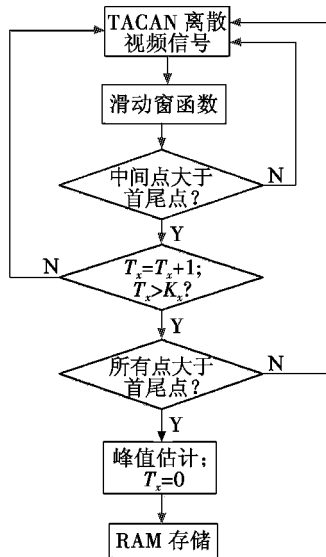


图 6 改进的峰值检测算法

Fig. 6 Modified peak detecting algorithm

$$\begin{aligned}
 \mathbf{V} &= \begin{bmatrix} U(\frac{k}{f_s} - t_i) \\ U(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{1}{f_s}) \\ \vdots \\ U(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{15}{f_s}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u(\frac{k}{f_s} - t_i) & u(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{1}{f_s}) & \cdots & u(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{17}{f_s}) \\ u(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{1}{f_s}) & u(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{2}{f_s}) & \cdots & u(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{18}{f_s}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{15}{f_s}) & u(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{16}{f_s}) & \cdots & u(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{32}{f_s}) \end{bmatrix} = \\
 & \begin{bmatrix} P_{t_i} \cdot Z(\frac{k}{f_s} - t_i) & P_{t_i - 1/f_s} \cdot Z(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{1}{f_s}) & \cdots & P_{t_i - 17/f_s} \cdot Z(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{17}{f_s}) \\ P_{t_i - 1/f_s} \cdot Z(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{1}{f_s}) & P_{t_i - 2/f_s} \cdot Z(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{2}{f_s}) & \cdots & P_{t_i - 18/f_s} \cdot Z(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{18}{f_s}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{t_i - 15/f_s} \cdot Z(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{15}{f_s}) & P_{t_i - 16/f_s} \cdot Z(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{16}{f_s}) & \cdots & P_{t_i - 32/f_s} \cdot Z(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{32}{f_s}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_k & n_k & \cdots & n_k \\ n_k & n_k & \cdots & n_k \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ n_k & n_k & \cdots & n_k \end{bmatrix} = \mathbf{Q} + \mathbf{N} \quad (4)
 \end{aligned}$$

式中:矩阵  $\mathbf{Q}$  表示滑动窗在 16 个滑动时刻点所能提供的全部有效采样点的幅度; $\mathbf{N}$  表示噪声矩阵。

$\mathbf{Q}$  矩阵中反对称线上的值相等,对其所有点进行

根据 TACAN 系统工作原理,以主基准为时间起点的 TACAN 方位包络信号为

$$U(t) = U_m [1 + m_{15} \sin(2\pi f_1 t - \varphi_1) + m_{135} \cdot$$

$$\sin(2\pi f_2 t - \varphi_2)] \cdot \sum_{i=0}^{\infty} [\delta(t - t_i) G(t)] + n(t) \quad (1)$$

式中: $U_m$  为视频脉冲信号幅度; $m_{15}$  和  $m_{135}$  分别为 15 Hz 和 135 Hz 正弦包络信号的调制度; $\varphi_1, \varphi_2$  分别为粗测角和精测角; $\delta(t - t_i) G(t)$  为特定时间点的钟形脉冲对,半幅度点处脉冲宽度约为 3.6  $\mu\text{s}$ 。在信标天线理想旋转频率下, $f_1, f_2$  分别为 15 Hz 和 135 Hz。

在脉冲信号中加入一个长度为 1.8  $\mu\text{s}$  的滑动窗函数,当用 10 Hz 的频率进行采样时,窗函数会以 18 个采样点的长度随时间在脉冲信号上进行滑动。检测窗函数中间 16 个采样点幅值,如果存在大于首尾 2 点的情况,则预判有脉冲到达,记当前时间为  $t_i$ ,窗中 18 个采样点的幅值可以表示为

$$\begin{aligned}
 U(\frac{k}{f_s} - t_i) &= \\
 & [u(\frac{k}{f_s} - t_i) \quad u(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{1}{f_s}) \quad \cdots \quad u(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{17}{f_s})] \quad (2)
 \end{aligned}$$

式中: $f_s$  为当前采样频率; $u(\frac{k}{f_s} - t_i)$  为  $t_i$  时刻受噪声干扰的采样点幅度值,记为

$$u(\frac{k}{f_s} - t_i) = P_{t_i} \cdot Z(\frac{k}{f_s} - t_i) + n_k \quad (3)$$

从预判脉冲到达时刻  $t_i$  开始,滑动窗依次向前推进 16 次并记录每次移动后窗内各采样点的幅度值。滑动 16 次后,窗内所有采样点的幅度将不再高于首尾两点,滑动停止。此时,各采样幅值可表示为

一次累加可以得到

$$P = P_{t_i} \cdot Z(\frac{k}{f_s} - t_i) + 2P_{t_i - 1/f_s} \cdot Z(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{1}{f_s}) + \cdots +$$

$$16P_{t_i-15/f_s} \cdot Z\left(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{15}{f_s}\right) + 16P_{t_i-16/f_s} \cdot Z\left(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{16}{f_s}\right) + 16P_{t_i-17/f_s} \cdot Z\left(\frac{k}{f_s} - t_i + \frac{17}{f_s}\right) + \dots \quad (5)$$

累加的过程中噪声相互抵消,最大程度保留了有效幅度值,对P进行归一化处理取最大值对应的幅度作为当前脉冲的峰值,其对应的时刻点为峰值定时点。此外,滑动窗函数法对脉冲宽度的变化不敏感,能更好地保留脉冲信号中的复杂频率成分,且硬件实现非常简单。

### 4 实验结果分析

采用 Matlab 软件仿真平台进行实验,并对结果进行分析。理想发射频率下 TACAN 信号参数设置如表 1 所示。

表 1 TACAN 信号参数表  
Table 1 Parameters of TACAN signal

参数	数值
直流分量 $U_m/V$	2
15 Hz 信号初相 $\theta_1/rad$	$\pi/3$
15 Hz 信号调制度 $m_1$	0.2
135 Hz 信号初相 $\theta_2/rad$	$\pi$
135 Hz 信号调制度 $m_2$	0.2
参考距离 $S/m$	600

实验 1 在不同信噪比情况下对本文改进的峰值检测算法和现有模拟方法进行对比,仿真结果如图 7 所示。

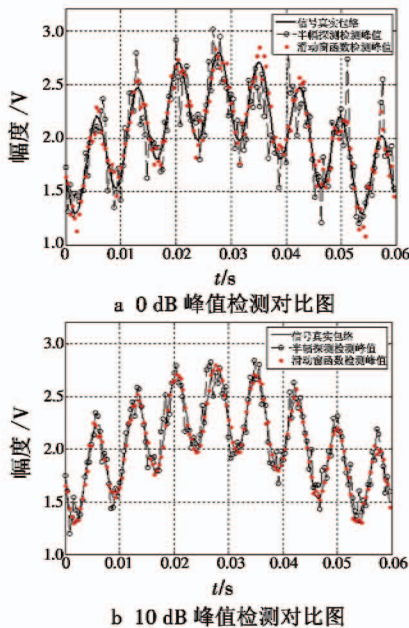


图 7 峰值检测对比图

Fig. 7 Result of peak detecting

由图 7 可以看出,在 10 dB 功率信噪比情况下,两种方法的检测性能相近,半幅探测检测出的峰值有少

数点偏离信号包络,滑动窗法检测出的峰值分布曲线更加平滑。当信噪比降低到 0 dB 时,半幅探测法检测出的峰值准确度严重下降,包络拟合精度低,此时,滑动窗函数法性能略有降低,但整体性能较为平稳。综合得出,本文提出的滑动窗函数法优势更加明显。

实验 2 在某外场测试试验中,检测仪与 TACAN 地面设备距离为 5000 m,角度为 60°。根据测试仪控制面板统计数据,利用 Matlab 绘制主要技术参数如图 8 所示。

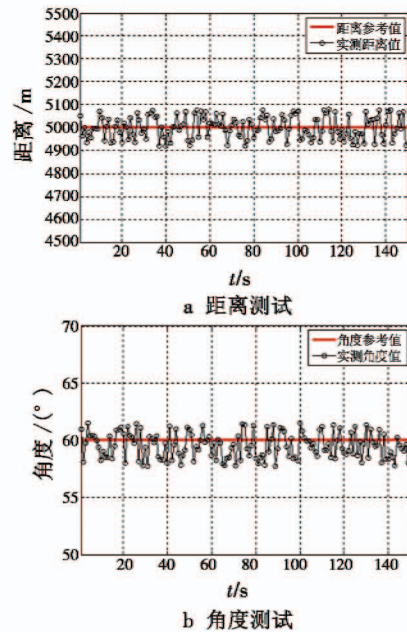


图 8 主要参数测试图

Fig. 8 Test result of major parameters

由图 8 可以看出,受信号处理精度和环境干扰等因素影响,测试结果随时间变化在参考值附近波动,波动大小可以满足系统对距离和角度测试结果的精度要求。综合分析控制面板上 TACAN 信号其他技术参数测量结果,可以得出测试仪能够实现对 TACAN 信号的检测。

### 5 结论

本文以中频数字化处理技术为基础,结合 FPGA + DSP 两种处理器的特长,设计并实现了一种数字化 TACAN 信号测试系统,解决了目前 TACAN 设备无外场测试能力的问题,提升了设备的维护和使用水平。目前测试仪已完成外场试验,在试验中设备各级通信稳定可靠,测试准确度高,从开发角度具有一定的推广价值。

### 参考文献

[1] CHRISTOPHER E J. Electronically scanned TACAN antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas Propagation, 1974(1):12-16.

- ledge, 1996(4):38-40.)
- [11] 张均勇,李武奇,奚邦志,等. 飞机战伤抢修性设计探析[J]. 中国工程机械学报, 2009, 7(4):478-483. (ZHANG J Y, LI W Q, XI B Z, et al. Investigation into combat resilience design for military aircrafts[J]. Chinese Journal of Construction Machinery, 2009, 7(4):478-483.)
- [12] 李曙林,李寿安,童中翔,等. 战伤抢修对飞机生存力的影响分析[J]. 兵工学报, 2005, 26(6):77-79. (LI S L, LI S A, TONG Z X, et al. Effect of battle damage assessment and repair on aircraft survivability [J]. Acta Armamentarii, 2005, 26(6):77-79.)
- [13] 周红,侯满义,李曙林. 电子战条件下飞机敏感性分析及其减缩技术[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(s2):139-141. (ZHOU H, HOU M Y, LI S L. Aircraft susceptibility analysis and decrease methods under the conditions of electronic war[J]. Fire Control and Command Control, 2008, 33(s2):139-141.)
- [14] 行鸿彦,龚平,徐伟. 海杂波背景下小目标检测的分形方法[J]. 物理学报, 2012, 61(16):70-79. (XING H Y, GONG P, XU W. Small target detection in the background of sea clutter using fractal method [J]. Acta Physica Sinica, 2012, 61(16):70-79.)
- [15] 刘庆林,夏海宝,安磊,等. 地海杂波下机载预警雷达探测仿真[J]. 计算机仿真, 2015, 32(1):40-45. (LIU Q L, XIA H B, AN L, et al. Simulation of airborne early warning radar detection under ground and sea clutter [J]. Computer Simulation, 2015, 32(1):40-45.)
- [16] 李云龙,赵宏钟. 基于 K 分布雷达海杂波建模与仿真[J]. 制导与引信, 2011, 32(2):14-17. (LI Y L, ZHAO H Z. Modeling and simulation of radar sea clutter based on K-distribution[J]. Guidance & Fuze, 2011, 32(2):14-17.)
- [17] KONOKMAN H E, KAYA M. Analysis of aircraft survivability against fragmenting warhead threat, AIAA-2014-0355[R]. Reston: AIAA, 2014.
- [18] 裴扬. 飞机非核武器威胁下易损性定量计算方法研究[D]. 西安:西北工业大学, 2006. (PEI Y. Quantitative calculation methods of aircraft non-nuclear vulnerability[D]. Xi'an:Northwestern Polytechnical University, 2006.)
- [19] 王旭,宋笔锋. 一对一遭遇时飞机生存力-探测时间解析模型[J]. 航空学报, 2008, 29(4):914-918. (WANG X, SONG B F. Analytic model of aircraft survivability-detection time for one-on-one engagement[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2008, 29(4):914-918.)
- 
- (上接第 70 页)
- [2] 张忠兴,李晓明,张景伟. 无线电导航理论与系统[M]. 西安:陕西科学技术出版社, 1998. (ZHANG Z X, LI X M, ZHANG J W. Radio navigation theory and system [M]. Xi'an:Shanxi Technology Press, 1998.)
- [3] 张浩杰,李晓明,裴文林. 基于中频数字化技术的塔康测角方法研究[J]. 现代防御技术, 2012, 40(3):67-71. (ZHANG H J, LI X M, PEI W L. Angle measuring of TACAN based on IF digital technique [J]. Modern Defence Technology, 2012, 40(3):67-71.)
- [4] 高敏,任海龙,杨芳,等. 基于 DSP + FPGA 的弹载计算机设计[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(12):3995-3997. (GAO M, REN H L, YANG F, et al. Design of missile-borne computer based on DSP + FPGA[J]. Computer Measurement and Control, 2014, 22(12):3995-3997.)
- [5] 陈志华,李德识,李刘腾. 基于 FPGA 的多接口路由系统设计及实现[J]. 科学技术与工程, 2014, 15(2):97-103. (CHEN Z H, LI D S, LI L T. Design and implementation of multiple interfaces system based on FPGA[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 15(2):97-103.)
- [6] 张华伟,徐少华. 新型触摸屏与 DSP 通信的研究与实现[J]. 计算机工程与设计, 2006(6):1036-1039. (ZHANG H W, XU S H. Research and realization of communication between new touch screen and DSP[J]. Computer Engineering and Design, 2006(6):1036-1039.)
- [7] 文常保,张颖超,李建华. 基于 FPGA 的轴转物体转速测量系统设计[J]. 计算机工程与设计, 2014, 35(2):473-477. (WEN C B, ZHANG Y C, LI J H. Rotational frequency measurement system of rotating object based on FPGA[J]. Computer Engineering and Design, 2014, 35(2):473-477.)
- [8] 曾素琼,黄华杰. 基于单片机和 LabVIEW 的无线火灾监测系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(1):43-45. (ZENG S Q, HUANG H J. Design of wireless fire monitoring system based on microcontroller and LabVIEW [J]. Computer Measurement and Control, 2015, 23(1):43-45.)
- [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, 26(4):483-487. (PENG D G, LI Z A, LI X M, et al. Accurate angle measuring and outliers restraining of TACAN [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications: Natural Science Edition, 2014, 26(4):483-487.)
- [10] 王鼎,章小梅,栾宝宽. 塔康地面信标半幅探测电路对测距精度的影响分析[J]. 现代导航, 2014, 4(2):117-120. (WANG D, ZHANG X M, LUAN B K. Analysis of effect of half-amplitude detection circuit on measuring accuracy in TACAN beacon [J]. Modern Navigation, 2014, 4(2):117-120.)