

# 扩频多目标信号动态模拟系统的设计与实现

何 谦, 吴有杏, 李仁龙

(中国卫星海上测控部, 江苏 江阴 214431)

**摘要:** 针对航天测量船在扩频多目标测控任务中缺乏链路动态信号模拟联试手段的实际, 通过对扩频多目标测控体制原理进行分析, 结合多目标模拟器的使用设计了扩频多目标信号动态联试环境, 提出了一种基于 STC89C52RC 单片机技术的信号动态变化自控系统的设计方案; 该系统可较好地根据控制文件设置各目标链路的衰减量, 从而模拟飞行目标信号在空间动态地变化, 经过数次任务验证, 证明该系统可有效提高对跟踪设备的动态性能和扩频基带码间抗干扰性能的检测。

**关键词:** 直接序列扩频 (DS-SS) 信号; 多目标; 动态信号; STC89C52RC 单片机

## Design and Realization of System on Multi-target Dynamic Signal Simulation in Direct Sequence Spread Spectrum System

He Qian, Wu Youxing, Li Renlong

(China Satellite Maritime Tracking and Controlling Department, Jiangyin 214431, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of lack the dynamic signal simulation, existed in DS-SS system of TT&C multi-target mission, through the analysis of the principles about multi-target measurement and control missions based on spread spectrum technology, combining the using of multi-target simulator, a testing and commissioning condition is built up and a design of dynamic signal multi-target TT&C system based on STC89C52RC single-chip computer technology is successful developed and applied in an actual. The system can have the better capability to change the attenuator value according to the controlling file and offers a new way to simulate the flight target dynamic signal in space. It is proved that the system effectively improves the checking ability of tracking equipment dynamical performance and base band inter-symbol anti-disturbance performance according to the results of several experimental missions.

**Key words:** DS-SS signal; multi-target; dynamic signal; STC89C52RC single-chip computer

## 0 引言

在扩频多目标测控任务中, 航天测量船作为航天测控网中最灵活机动的海基测量单元, 承担了对多颗卫星的关键测控任务, 但是由于我国扩频测控网尚处于起步阶段, 很多配套的技术环节还未能满足测控要求<sup>[1]</sup>, 如缺乏有效检验测控设备执行多目标测控任务的联调联试手段。航天测量船在目标跟踪过程中, 由于合作目标尾焰干扰、组合体姿态调整、天线方向图哑点影响及大气折射损耗等原因有可能导致地面接收多个目标的下行信号呈现一定规律性的变化, 但在联调联试过程中, 由于目前卫星模拟器输出信号幅度固定不变, 与任务实际情况不符, 无法准确仿真和分析测控信号动态变化时对系统跟踪性能的影响。针对联试过程中多目标信号动态变化模拟需求, 成功研制扩频多目标信号动态变化自动控制系统, 通过对实际任务中的电平变化情况进行分析制作出控制文件, 通过读取控制文件可仿真模拟单目标的信号幅度变化情况以及多个目标之间的信号幅度差情况, 经过微波自检射频链路动态模拟出实战任务环境下各种电平变化情况, 有效检验测控信号动态变化对系统跟踪性能的影响。

## 1 扩频多目标测控

### 1.1 扩频多目标测控体制

航天测量船采用单波束多目标同时测控管理模式, 采用码分多址 (CDMA) 技术, 综合运用 FFT 分析法、并行通道法及相干/非相干累积法等快捕技术, 可同时完成多颗卫星的遥测遥控和测距测速等任务, 也可进一步使用多站数据融合技术深入提高测距、测速、定位及定速精度。

单站多目标测控其技术难点在于对航天飞行器的目标识别, 天线单波束内采用 PN 码对应特定的地址码对多个空间目标进行识别<sup>[2]</sup>, 较好地解决了多目标测控跟踪的问题。在上行链路中, 利用 PN 码对不同的卫星遥控指令和注入数据进行扩频调制后, 经发射机送至星上扩频应答机。在下行链路中, 星上扩频应答机利用 PN 码对遥测数据进行扩频调制发送至地面接收天线。地面测站系统利用上下行链路扩频调制的扩频码以及特定的信息帧结构, 实现扩频信号的快速捕获与精确跟踪。

### 1.2 多目标动态联试环境的构建

针对多目标测控任务准备过程中, 缺乏有效检验测控设备执行多目标的联试手段, 利用已有联试应答机构建多目标联试应答机, 通过将 3 台联试应答机组合起来的实现方式, 实现多目标联试的功能<sup>[3]</sup>。三目标模拟器与测控设备连接关系如图 1 所示。

每台联试应答机各模拟 1 个目标, 单台联试应答机能接收解调 2 路上行信号 (1 路遥控、1 路测距) 和产生 2 路下行信号 (1 路遥测、1 路测距)。通过 3 台联试应答机的组合, 可模

收稿日期: 2013-11-15; 修回日期: 2014-01-20。

作者简介: 何 谦 (1978-), 男, 陕西合阳人, 学士, 工程师, 主要从事航天测控总体、雷达信号处理与标校方向的研究。

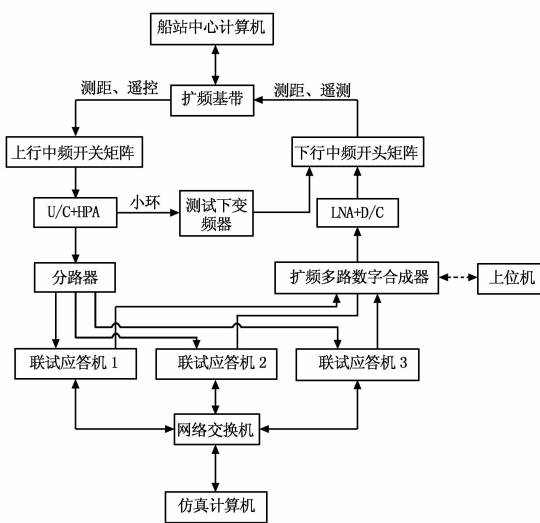


图 1 多目标动态联试环境构建图

拟 3 个目标上/下行共 12 路信号。地面测控设备发射的上行射频信号通过分路器分成 3 路, 分别进入 3 台联试应答机; 3 路下行射频信号通过合路器合成 1 路射频信号输出至地面测控设备, 从而实现 3 个目标的模拟功能。

## 2 方案设计

### 2.1 系统总体设计

扩频多目标动态信号变化自动控制系统主要完成的功能是: 同时检测多个数控衰减器的衰减量并将采集到的数值传输至上位机, 上位机对采集到的数据进行计算分析、显示, 同时根据人工设置或控制文件对数控衰减器的衰减量进行增减控制。整个系统设计方案如下:

该系统由控制机箱和上位机组成。其中控制机箱包括交流电源、三路亚光电子 VJBS1122 数控衰减器、两路二分支功率合成器、STC89C52RC 单片机最小系统以及外设(电源显示、SMA 接头)等组成, 其总体设计如图 2 所示。

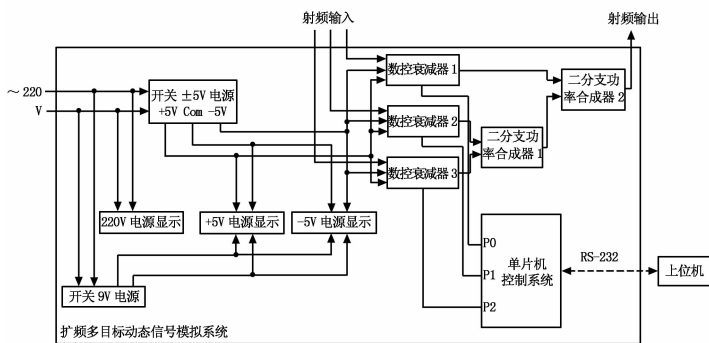


图 2 扩频多目标动态信号变化自动控制系统结构图

控制机箱的前面板布置有交流和直流的数显表头以及电源总开关, 为用户提供直观的电源指示; 后面板布置有交流插座、三个 SMA 输入接头、一个 SMA 输出接头、一个 DB9 接口以及地线接口。

其中, 亚光电子 VJBS1122 数控衰减器是一种常用的电子测量设备, 是用微型真空继电器和贴片电阻网络组成的衰减器, 它通常插在信号源与负载之间, 用于调节信号的大小, 防

止过载电路过载。可通过单片机采用 TTL 信号对其衰减量的增减进行高速数控, 并且衰减精度高、相位恒定, 具有适用面广和使用更方便等特点。数控衰减器在改变衰减量时, 必然会对和差接收通道增益一致性及相位一致性产生影响, 所以要使衰减器改变状态时系统状态稳定, 需严格控制配置的数控衰减器的衰减精度和相位变化<sup>[4]</sup>。具体指标如下: (1) 衰减精度:  $\leq \pm 0.3 \text{ dB}$ ; (2) 各衰减状态相位一致性:  $\leq \pm 0.2^\circ$ ; (3) 相位稳定性: 全温范围  $\leq 1^\circ$ 。

### 2.2 硬件电路的设计

单片机是整个电路中最核心的元件, 本系统采用 STC89C52RC 单片机。该单片机是一种低功耗、高性能、抗干扰 CMOS 8 位微控制器, 同时还具有串行口编程功能, 指令代码及引脚完全兼容传统 80C51 单片机。

RS232 是一种串行通信总线标准, 是现代通讯技术的工业标准之一, 大多数计算机包含两个基于 RS232 的串行口 COM1 和 COM2<sup>[5]</sup>, 串口通信协议可以用于获取远程采集设备的数据, 具有连线简单、远距离通信及性价比高等优点。

基于以上优点, 本系统选 RS232 总线进行单片机最小系统与上位机之间的数据传输, 由于计算机串口输出电压高达 12 V, 直接与单片机连接会烧坏芯片, 所以需要进行电平转换。MAX232 芯片采用 +5 V 电源供电, 借助外接电容即可实现上位机端 RS232 电平与 TTL 电平的转化, 因此选择 MAX232 转换芯片将 RS232 标准电平转换为 TTL 电平接入处理器的异步串行通信口, 实现 RS232 网络的半双工通信。为了保证单片机工作性能的稳定, 选用外部晶振产生 11.059 2 MHz 的固定频率<sup>[6]</sup>。根据上述元器件的选择, 其硬件接口电路设计如图 3 所示。图中所示 +5 V 电压由开关 +5 V 电源模块提供, 这样可以保证整个自控系统电源的一致性。

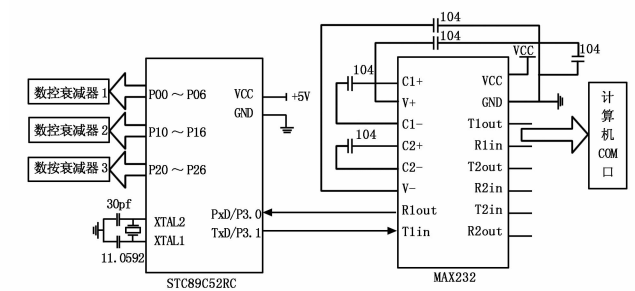


图 3 STC89C52RC 的外部连接图

### 2.3 单片机控制程序设计

在软件设计过程中, 必须把单片机的串口进行正确设置, 否则单片机工作时序不正确就会出错。在系统初始化过程中对串口进行设置, 本方案中设置为串口工作模式 1, 定时器工作方式 2, 晶振初始化为 11.0592MHz, 然后开中断即可。各 I/O 口的初始值也是在这一过程设置。

### 2.4 上位机程序设计

上位机程序采用 Visual C++6.0 进行软件开发, 可以充分利用其固有资源, 从而有效降低软件开发成本, 增强软件的维护性, 并扩大软件的适应性范围。其主要功能是打开基于 RS232 的串行口, 配置相关的串行端口号和波特率、校验位、数据位、停止位等参数, 完成串行口数据的收发; 可采用人工

编制控制流程或调用控制文件实现衰减器的控制，人工编制控制流程控制可设置延时、T0 时间、衰减器 1、衰减器 2、衰减器 3 的衰减量值，借助人工控制开始与暂停或设定 T0 时间使系统按时序控制合成器，而调用控制文件控制可调用预先准备好的 \*.txt 文件进行控制。其主程序流程如图 4 所示。

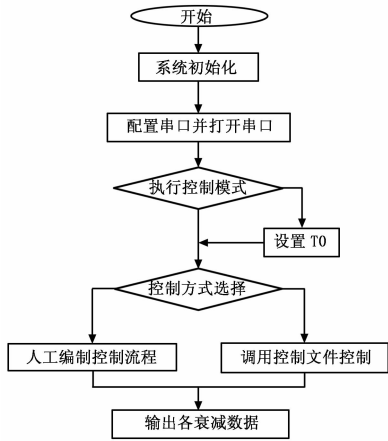


图 4 主程序流程图

### 3 仿真分析验证

#### 3.1 影响控制文件的因素

影响测控站接收卫星下行信号电平的主要因素有：星上发射 EIRP、地面天线增益、场放灵敏度、动态范围、斜距以及各类损耗等，综合考虑影响控制文件的制作主要有以下因素：

(1) 测控天线下行组阵方向图：根据卫星的飞行姿态、星上对地对地天线与地面测控站的测控角（即  $\theta$  角），结合卫星测控天线下行组阵方向图，可观察计算出各目标天线在测控站跟踪弧段的净增益，考虑到星载应答机的发射功率、馈线损耗和功分损耗，从而进一步确定合作目标相对测控站的 EIRP 值。

(2) 信噪功率谱密度计算：根据信标雷达方程公式及地面站测控系统对目标捕获的性能要求，可以推导出系统满足测控站要求所需的信噪功率谱密度计算公式如下：

$$S/\varphi = EIRP + G/T - K - (20\lg F + 20\lg R + 32.44) - L_p - L_{lep} - L_{atm} \quad (1)$$

其中： $EIRP$  为合作目标天线口面处有效辐射功率 (dBm)， $G/T$  为主天线品质因数 (dB/K)， $K$  为波尔兹曼常数 (-228.6 dBW/Hz)， $F$  为设备工作频率 (MHz)， $R$  为目标径向跟踪距离 (km)， $L_p$  为极化损耗 (dB)， $L_{lep}$  为指向误差损耗 (dB)， $L_{atm}$  为大气损耗 (dB)。

(3) 联试应答机输出功率的标定：多目标联试应答机作为动态信号模拟的关键授源部件，需要标定出其输出通道功率、所对应基带的 AGC 及  $S/\Phi$ ，以便控制文件的制作。如表 1 所示。

表 1 联试应答机输出功率标定

	通道功率 (V)	基带通道 AGC (dBHz)	基带通道 $S/\Phi$
联试应答机 1	-28	3.12	67
联试应答机 2	-25	3.05	63
联试应答机 3	-26	3.07	64

(4)  $AGC \sim S/\Phi$  关系曲线标定：系统  $AGC \sim S/\Phi$  关系曲线在测控系统捕获中作为转自跟踪模式条件的判决依据，以及在轨道测量中数据处理的参考条件起着很重要的作用。因此，需定期进行系统  $AGC \sim S/\Phi$  关系曲线的标定，通常采用在场放前定向耦合器输入端口有序动态输入所用频率的电平，在下行接收链路中测试端口接入频谱仪，读出  $S/\varphi$  值，同时对应综合基带界面读出 AGC 电压值。结合实际标定情况，其曲线满足线性关系。

(5) 相似任务经验修正：由于多目标卫星通过对接机构采用串联方式放置，各目标存在物理间相互遮挡，而且卫星分离前期由于火箭尾焰、火箭动力学变化等多因素影响，导致该段接收信号电平起伏变化较大，对电平计算及仿真模拟具有一定的难度，故在控制文件制作时采用以往相似任务的 AGC 数值进行电平修正。

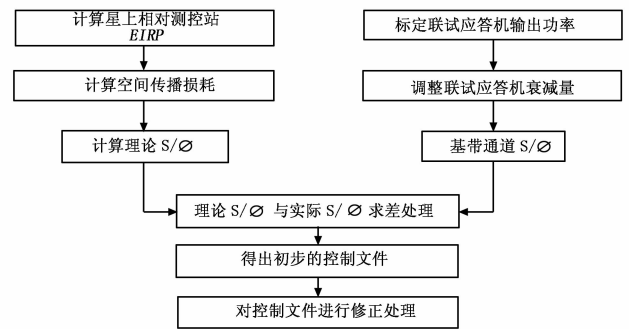


图 5 控制文件制作流程图

#### 3.2 控制文件的制作

如图 5 所示，首先根据星上应答机功率、下行组阵方向图计算星上 EIRP，其次根据跟踪性能表，利用信噪功率谱密度函数计算理论  $S/\varphi$ 。标定出 3 目标联试应答机的通道输出功率，并根据基带锁定需要调整各联试应答机衰减量使基带正常捕获三目标，从基带界面上读出各通道  $S/\varphi$ 。然后求出理论  $S/\varphi$  与实际标定的  $S/\varphi$  之差值，即得出初步的控制文件。最后根据以往相似任务的 AGC 数值和  $AGC \sim S/\Phi$  关系曲线对目标出地平或星箭分离等不可估算时刻的  $S/\varphi$  进行修正，得出最终的上位机可识别的控制文件。

#### 3.3 仿真实验

按照图 1 所示构建扩频多目标动态信号自动控制系统联试演练环境，按照某型号任务提供的阵地测试参数及跟踪性能表制作出相应的控制文件，由上位机程序读取该控制文件，分别自动控制各联试应答机输出信号的衰减量数值，从而使进入微波自检射频链路的 3 个目标 BPSK 信号产生动态变化，扩频基带接收解调 3 目标动态信号，记录 AGC 电压随时间变化情况，如图 6 左侧所示，右侧为该型号实战任务的检后记录数据。由图 6 可以看出，通过扩频多目标动态信号自动控制系统较好地仿真了目标飞行过程（含干涉区）中信号电平变化情况，可实现动态信号下的测距、测速、遥测等设备功能的检查验证。

### 4 结束语

本文所设计实现的扩频多目标信号动态模拟系统，采取了软件与硬件相结合的方法，选用 STC89C52 单片机及 VJBS1122 数控衰减器作为整个系统的核心，通过理论电平计

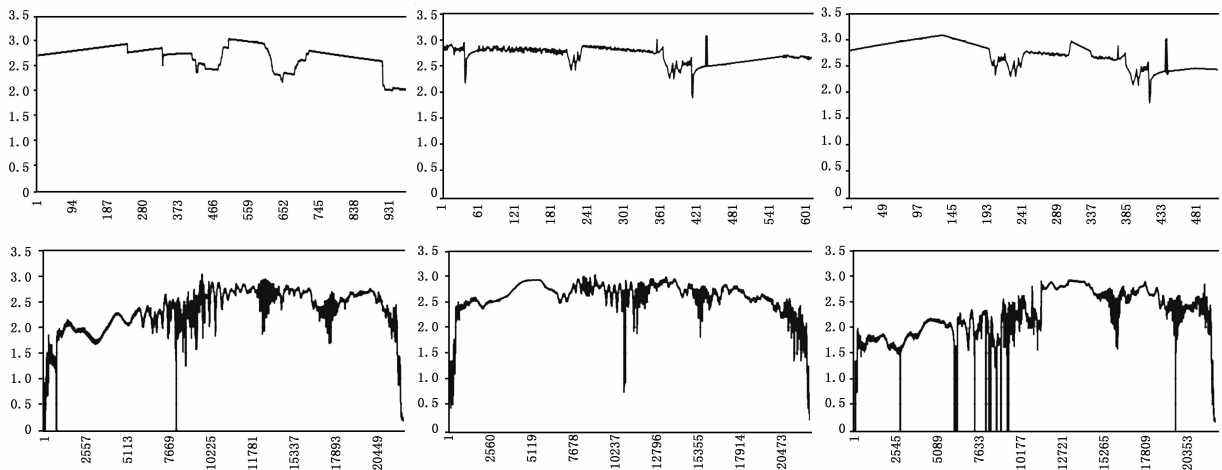


图 6 某型号任务三目标仿真及实际 AGC 电平变化情况

算和实际任务的数据融合制作控制文件, 能够有效地模拟空间飞行目标在飞行过程中的信号动态变化, 实现了对跟踪设备的动态性能和扩频基带抗多址干扰性能的有效检测。目前, 该系统经过 5 次多目标任务的检验, 证明其方法科学有效、操作方便快捷、运行稳定可靠, 达到了充分检验设备性能、配合进行应急处置训练的目的。

参考文献:

[1] 陈步康, 毛燕军, 刘 咏. 扩频多目标跟踪训练系统设计 [J]. 遥测遥控, 2010, 31 (1): 33-36.

[2] 蔚保国, 罗伟雄. 航天飞行器多目标测控系统研究 [J]. 无线电工程, 2005, 35 (7): 26-28.  
 [3] 李其福, 毛南平, 刘 洋, 等. 舰载多目标模拟器的构建与应用 [J]. 飞行器测控学报, 2011, 30 (3): 40-43.  
 [4] 杨 帆. 测控站大动态高频接收分系统的设计 [J]. 机电信息, 2010, 208 (12): 103-107.  
 [5] 宋春雷, 董春雷, 黄宇辉. 浅论用 C 语言实现 RS232 串口通信的方法 [J]. 电子技术, 2011, 3: 87-89.  
 [6] 蔡礼田, 逢 博, 邱 政, 等. 基于 STC89C52RC 的雷达模拟器数字键盘设计 [J]. 电子测试, 2011, 10: 55-57.

(上接第 1889 页)

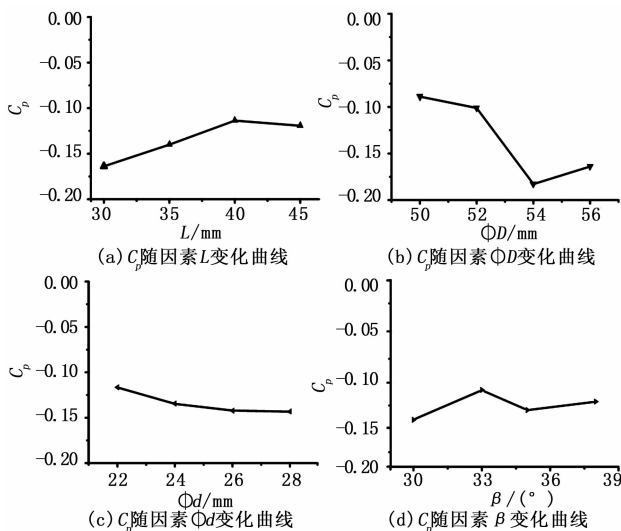


图 6 试验指标随各因素的变化趋势

参考文献:

[1] 刘笃喜, 赵小军, 覃秋霞, 等. 以拖锥为载体的飞机外置式空气静压测量装置 [P]. 201210375966. 4. 2013-01-02.  
 [2] 邱 兰, 齐鄂荣. 二维矩形突起物绕流流动特性的实验分析 [J]. 武汉大学学报 (工学版), 2007, 40 (6): 36-41.

[3] 谭福大, 梁荣光. 催化转换器扩张角对流体流动特性的影响 [J]. 山东交通学院学报, 2008, 16 (1): 16-18.  
 [4] Thacker A, Aubrun S, Leroy A, et al. Effects of suppressing the 3D separation on the rear slant on the flow structures around an Ahmed body [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2012, 107: 237-243.  
 [5] Kim K C, Ji H S, Seong S H. Flow structure around a 3-D rectangular prism in a turbulent boundary layer [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2003, 91 (5): 653-669.  
 [6] 李云娇, 蒋东方, 等. 一种无人机高度与空速测量系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (5): 1174-1177.  
 [7] Qiang Z, Yong Y. A new simpler rotation/curvature correction method for spalart-allmaras turbulence model [J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2013, 26 (2): 326-333.  
 [8] 何晓聪, 曹红松, 赵捍东, 等. 弹箭外部绕流数值仿真中网格的选择 [J]. 弹箭与制导学报, 2009, 29 (2): 191-194.  
 [9] 何 立. 车用催化器扩张段结构及其气流径向分布特性研究 [D]. 东北林业大学, 2005.  
 [10] 许建民, 刘金武. 收缩管角度对车用催化转换器流动特性的影响 [J]. 武汉科技大学学报: 自然科学版. 2011, 34 (3): 233-235.  
 [11] Zhang C, Ren L, Han Z. Numerical simulation of external flow over a dimpled axisymmetric bluff body for drag reduction [J]. Journal of Jilin University, 2006: 479-483.