

带权超网络的航天测控预设阵地的定位与定向

廖琳¹, 侯玉霞²

(1. 桂林理工大学 理学院, 广西 桂林 541006;

2. 桂林理工大学 旅游与风景园林学院, 广西 桂林 541006)

摘要: 为精准控制航天阵地所处位置, 提出一种基于带权超网络的航天测控预设阵地的定位与定向方法; 按照射频电路中流通电子的供应需求, 连接微型测控处理器与串行芯片, 并以此为条件布施网络内的带权超节点, 搭建阵地预设的必备应用环境; 通过划分航天测控预设阶段的方式, 布局与预设阵地相关的定位点, 再联合相应的单片机, 实现预设阵地的定位处理; 根据联测方位角的具体数值, 计算预设阵地的定向外力矩条件, 借助既定型号的单片机设备, 实现预设阵地的定向处理; 两相结合, 完成基于带权超网络航天测控预设阵地的定位与定向方法设计; 对比实验结果表明, 应用新型处理方法后, D-S系数、P-S系数的极值水平平均超过60%, 航天测控预设阵地所处位置得到有效控制。

关键词: 带权超网络; 航天测控; 预设阵地; 定位定向; 射频电路; 定位点; 联测方位角; 定向外力矩

Positioning and Orientation of the Preset Position of TT&C with Overweighted Network

Liao lin¹, Hou Yuxia²

(1. College of Science, Guilin University of Technology, Guilin 541006, China;

2. College of Tourism and Landscape Architecture, Guilin University of Technology, Guilin 541006, China)

Abstract: In order to accurately control the position of space position, a method of positioning and orientation of preset position of space tt&c based on weighted supernetwork is proposed. According to the supply demand of circulating electronics in the rf circuit, the micro measurement and control processor and serial chip are connected, and the weighted super node in the network is distributed as a condition to build the necessary application environment preset by the position. By dividing the preset stage of TT&C, the positioning points related to the preset position are laid out, and then the corresponding MCU is combined to realize the positioning processing of the preset position. According to the specific value of the joint azimuth angle, calculate the directional external torque condition of the preset position, and realize the directional processing of the preset position with the aid of the single-chip microcomputer equipment of the established model; Based on the combination of the two methods, the positioning and orientation design of the preset position of tt&c based on the weighted supernetwork is completed. The experimental results show that the extreme values of d-s coefficient and p-s coefficient both exceed 60% after the new treatment method is applied, and the position of preset tt&c position is effectively controlled.

Keywords: weighted super network; space TT&C (telemetry, track and command); preset position; orientation; radio frequency circuit; anchor point; simultaneous azimuth angle; directional external torque

0 引言

航天测控是由火箭运载、航空轨迹跟踪、远程信号接收、远程信号处理等多项技术共同组成的网络体系, 能够根据待测主体所发出的具体信号类别, 完成后续的任务指令执行及轨迹方向判定等处理。受到地球表面曲率作用的影响, 整个航天测控的实施过程只能以无线电微波作为单一传输介质, 且这种综合型的实操系统不可能根据一个目标节点的实施行为, 来判断整个火箭体或航空运载体的航

行轨迹^[1]。因此, 为实施航天测控的全程监视, 还需要多个地面站点的“接力”连接, 一方面将上级预设阵地的物理信息完整传输至下级预设阵地, 另一方面联合所有阵地主体, 形成一个独立的信息传输链路。所谓预设阵地也叫临时停靠阵地, 是指主体航空轨迹中可供设备暂时停留的物理位置, 通常存在于轨迹的中后段位置。对于火箭及其它航空设备来说, 前半段航行的动量导向力相对较足, 设备体无需在轨迹内做出无用停留; 而后半段航行的动量导向力相对较弱, 设备体必须在各级预设阵地内做出短暂停留后, 才能顺利完成后续的既定航行任务。

近年来, 随着航空航天技术的不断发展, 如何定位轨迹内预设阵地所处的具体位置, 成为了一项亟待解决的物

收稿日期: 2020-01-10; 修回日期: 2020-02-24。

作者简介: 廖琳(1993-), 女, 河南南阳人, 在读硕士生, 主要从事统计学复杂网络方向的研究。

理难题。传统 Y/JTG-1 方法根据航天测控器的非线性误差行为, 计算航行设备与预设阵地间信息传输的频度条件, 再借助既定串行芯片, 确定航行网络中可能出现信息交互行为节点的所在位置, 进而完成预设阵地的定位与定向处理。但随着执行时间的延长, 经由这种方法所得到的 D-S 系数与 P-S 系数均不能达到理想数值水平。为解决此问题, 引入带权超网络, 设计一种新型的航天测控预设阵地定位与定向方法, 借助射频电路、微型测控处理器等硬件结构, 布施所有满足应用条件等带权超节点, 再利用相应型号的单片设备, 实施最终的定位与定向处理。实验结果表明, 这种新型实施手段能够在确保航天器稳定航行的前提下, 提升 D-S 系数、P-S 系数的数值水平, 有效解决 Y/JTG-1 方法应用性不足的问题。

1 基于带权超网络的航天测控环境搭建

基于带权超网络的航天测控环境由射频电路、微型处理器、网络串行芯片等几部分组成, 具体搭建方法如下。

1.1 航天射频电路

航天射频电路是带权超网络中的唯一电量输出装置, 由 RAM、ROM、测控电阻、射频芯片等多个物理结构共同组成, 如图 1 所示。测控驱动器 W_1 、 W_2 同时存在于航天电流输入端的正下方, 能直接调节驱动电阻的接入数值水平, 进而使 RAM、ROM 设备两端的负载电压逐渐趋于稳定。CCI 设备位于电阻器的头结点位置, 调配航天测控电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 的执行数量值, 并将所有数据信息汇总, 传输至电子寄存器内部。CC2530 射频芯片是航天射频电路的核心构成元件, 同时驱动 ALU、ACC、PSW 等多个航天测控装置, 为保证带权超网络内电压处处相等, 传输电子必须先入电量测控装置, 才能与板材结构内的预留射频电量完全相融。航天电量控制器与带权超网络信道直接相连, 可在接收预设传输电子的同时, 将未完全利用的射频电量分配至 I_1 、 I_2 两个电子寄存器内部, 在确保预设阵地所处位置不出现明显变化的情况下, 联合 D_1 、 D_2 两个协调器装置, 完成整个航天射频电路内的电流输出任务^[2]。为保证航天设备能够得到稳定的电子供应, 射频电路内还并联一个微型的内控电路, 可按照电量控制器传输电流的具体变化情况, 更改测控任务的最终行为趋势。

1.2 微型测控处理器

微型测控处理器在带权超网络中起到核心控制作用, 能根据航天设备的现有执行状态, 规划预设阵地在后续航行轨迹中可能达到的最远路径范围, 为后续定位与

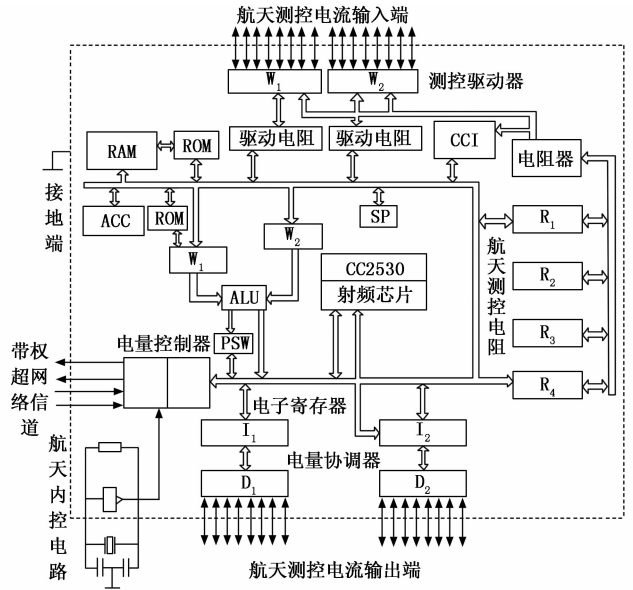


图 1 航天射频电路图

定向操作提供可依据的数值化条件。整个单体处理器由 PWR、TRIP、CPU、AC 共 4 类结构共同组成, 如图 2 所示。PWR 设备也叫为微型调控芯片, 置于测控处理器的最左端, 能够感知 CC2530 射频芯片的连接行为, 进而控制航天电路内的电子传输行为, 使预设阵地接收到的电量信号始终保持稳定状态^[3-4]。TRIP 设备的物理功能与测控处理

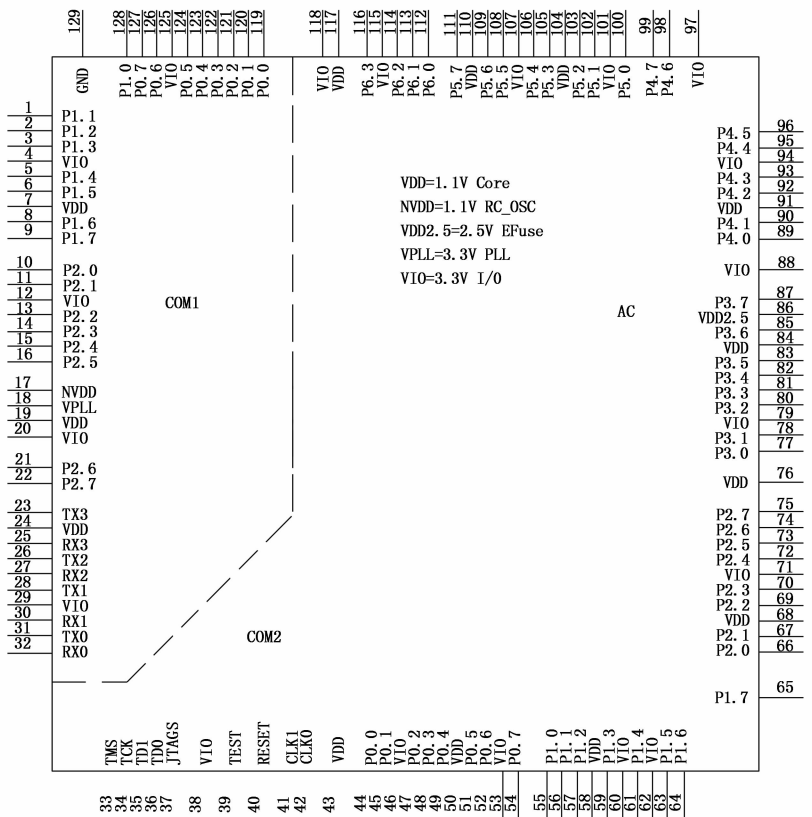


图 2 微型测控处理器结构图

电阻类似, 可根据航天电子寄存器、航天电量协调器内交变电流的传输情况, 更改主电路中的实际接入电阻, 并以此为条件, 限制电阻器的真实跳频范围, 使因预设阵地选取而引发的航天测控电压改变量快速趋于稳定。CPU 设备是 CC2530 射频芯片的辅助执行设备, 具备较强的电子感知能力, 在既定航行时间内, 可引导带权超网络逐渐向着并联化状态演变, 从而促使微型测控处理器能够与其它关联设备保持安全性连接。AC 设备置于测控处理器的最右端, 具备 20 个以上的连接惯脚, 是唯一保持单相接入的微型测控处理器实施元件。COM1 是航天射频电子的传入接口, COM2 是航天射频电子的传出接口, 在既定测控周期内, 只有两个接口同时保持占用状态, 才代表微型测控处理器以完全接入航天射频电路中。

1.3 网络串行芯片

网络串行芯片位于航天测控设备的主体结构单元中, 可借助无线电波实现与预设阵地间的信息互传, 并以此加强带权超网络的外部执行稳定性, 其结构如图 3 所示。整个网络串行芯片保持上、下两层的分级连接形式, 空白部署处分设多个网络电阻 R , 一方面对航天执行装置中的交变电流实施整合转换, 另一方面稳定测控环境内的核心输出电压。最上端连接开关直接控制串行电子接口器的测控处理行为, 可以在多个网络电阻 R 的共同作用下, 将处于分散状态的航天传输电流整合成束状结构。MS10232NL 设备负责驱动定位单片机装置, 通过多个物理惯脚直接接入芯片板材, 主要执行带权超网络内的电量平均处理任务。RH25L182 元件是网络串行芯片的核心搭建设备, 周围环绕着多个网络电阻 R , 可吸取每个执行电阻内的流通电子, 并将其驱散至接口器装置中。SMSCBJ10A 设备负责驱动定向单片机装置, 可根据航天测控处理器中定向外力矩的数量级水平, 更改航天行驶轨迹中预设阵地的实际数值条件^[5]。ERBCV100 设备位于网络串行芯片的最下端, 兼备信息综合、电量综合、指令综合等多项处置任务, 能直接调用航天射频电路中的交变电流。

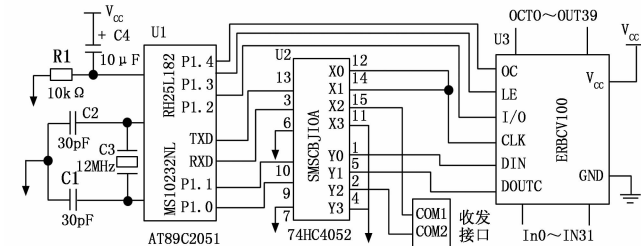


图 3 网络串行芯片结构图

1.4 带权超节点布施

如图 4 所示, 节点布施是航天带权超网络组建与协调处理的必要行为, 在微型测控处理器全面接电后, 联合网络串行芯片规划 MAC、NWK、PAN 等多个航天阵地节点

所处的具体位置。在航天带权超网络中, 微型测控处理器、串行芯片均保持独立并联的接入状态, 且随着总航行轨迹的延长, 所涉及预设阵地的数量级水平也会不断增大。为保证后续定位、定向指令的准确性, MAC 航天测控节点可以在 get-request 与 trap 协议的促进下, 同时执行网络电流的传入与传出处置, 并将未完全消耗的电量信息导入至航天测控信道内^[6]。NWK 节点置于带权超网络的中部位置, 与二级预设阵地相对应, 在整个航空电子传输过程中, 始终遵循 get-next-request 与 PDU 协议的连接需求。PAN 节点置于带权超网络的最末端, 与三级预设阵地相对应, 因本层结构中航天测控指令的执行步骤相对复杂, 故同时受到 set-request、SNMP、get-response 等 4 项传输协议的同时作用影响。

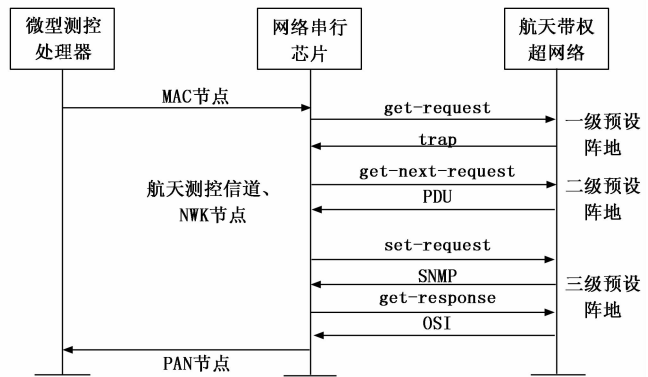


图 4 带权超节点布施原理

2 预设阵地的定位处理

在航天测控带权超网络环境的基础上, 按照预设阶段划分、定位点布局、单片机连接的操作流程, 完成预设阵地的初步定位处理。

2.1 航天测控的预设阶段划分

航天测控的预设阵地分布于航行轨迹的中后部, 为一个具有实际运载任务的设备结构体。在航天测控轨迹中, 包含中间位置节点在内共有 3 个最主要的测控待整单元, 分别命名为“初始预设阵地”、“逼近预设阵地”、“修正预设阵地”, 且每一类型阵地结构都对应一个相对独立的航天测控阶段。

- 1) 初始预设阵地: 初始预设阵地与初级航天测控行为对应, 在此过程中航天设备始终维持初始的航行状态, 这是整个预设阵地定位处理所参考的第一类数据信息。
- 2) 逼近预设阵地: 逼近预设阵地与中间航天测控行为对应, 在此过程中航天设备的航行行为首次发生改变, 这是整个预设阵地定位处理所参考的第二类数据信息。

3) 修正预设阵地: 修正预设阵地与末尾航天测控行为对应, 在此过程中航天设备的航行行为逐渐趋于稳定, 但总体数值水平远低于初始阶段, 这是整个预设阵地定位处理所参考的第三类数据信息^[7]。

设 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 分别代表第一类数据信息、第二类数据信息、第三类数据信息，联合上述物理量可将航天测控预设阶段的划分定义式表示为：

$$E = \frac{\sqrt{(\lambda_1 Q_1^2 + \lambda_2 Q_2^2 + \lambda_3 Q_3^2) - y^2}}{|QQ'|} \quad (1)$$

其中： λ_1 、 λ_2 、 λ_3 分别表示三个预设阶段内的航天测控行为系数， \bar{y} 代表预设阵地在航行轨迹中所占的数值权重， $|QQ'|$ 代表由航行起始位置指向航行终止位置的定位向量。

2.2 预设阵地的定位点布局

预设阵地定位点布局以带权超网络中的航天测控节点作为操作目标，按照不同预设阶段的结构特定，规划行为坐标体系内定位向量的指引方向。在带权超网络坐标系内， A_0 代表航天测控预设阵地的初始位置信息， A_n 代表航天测控预设阵地的完结位置信息，联立公式 (1)，可将预设阵地的定位点统筹规划原理表示为：

$$A_0 \vec{A}_n = \int_0^n \frac{\beta^2 |A_n \times A_0|^2}{Eu} d\beta \quad (2)$$

其中： $\vec{A}_0 \vec{A}_n$ 代表由初始位置指向完结位置的航天标记向量， n 代表从初始位置到完结位置航天测控预设阵地的具体实值数量， β 代表带权超网络坐标系中航行曲线的既定曲率条件， \bar{u} 代表测控航行轨迹内的规划回归系数。

在确保预设阵地统筹规划位置不发生改变的前提下，以既定时间 T 作为计数条件，在带权超网络坐标系内所有可能出现的曲率数值中，随机挑选一个向量定义为 β' ，设 R_0 代表下限布局边界参数， R_1 代表上限布局边界参数，联立公式 (2)，可将航天测控预设阵地的定位点布局判别式表示为：

$$W = \frac{|1 - \beta' \sum_{R_0}^{R_1} T \cdot \bar{p}^2|}{\chi' |A_0 \vec{A}_n|} \quad (3)$$

式中， \bar{p} 代表航天测控装置在带权超网络体系中的平均航行速率， χ' 代表定位点的布局权限参数。

2.3 定位单片机

定位单片机是航天测控装置内，直接与预设阵地交换定位指令的物理结构，总体电感抗压量略低于航天射频电路，受到微型测控处理器、网络串行芯片的直属领导，属于带权超网络中的“核心指挥元件”，如图 5 所示。处于中间位置的 AVR 定位主板，在感知航天测控装置与预设阵地间物理距离的同时，向连接开关传输控制指令，进而影响位置协调器的执行状态^[8]。MCS-51 电阻位于定位主板下

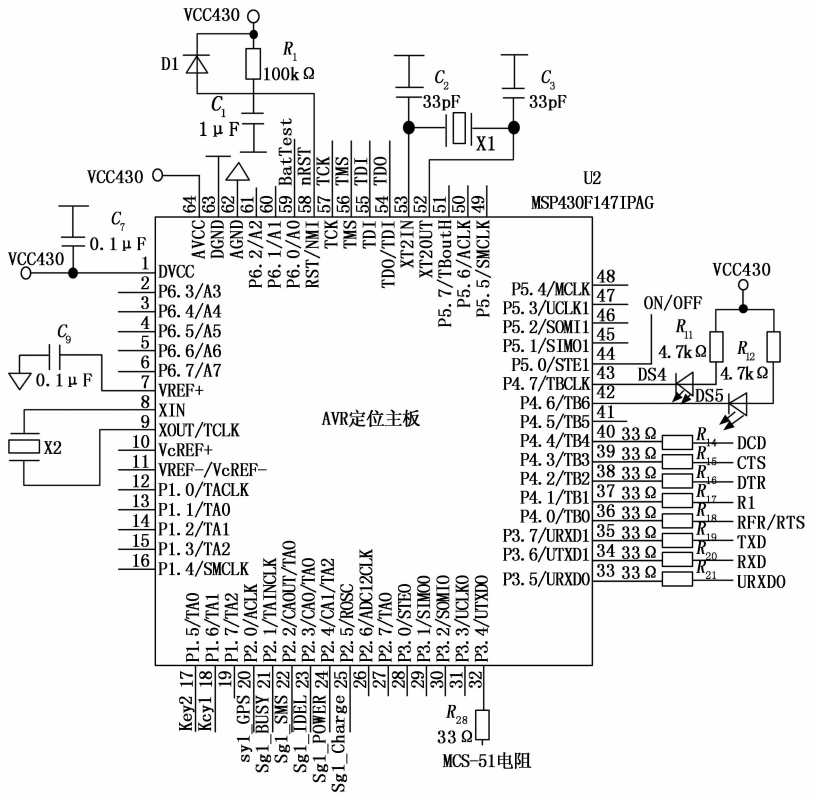


图 5 定位单片机结构图

方，与最下端的两个信号接收器直接相连，能准确接收预设阵地主体发出的微弱关联信号，并调节现有执行指令中的布局实施行为，实现无误定位的目的。

3 预设阵地的定向处理

联合单片机设备，满足航天测控预设阵地的定位需求，再通过确定联测方位角、计算定向外力矩的方式，实现阵地主体的定向处理。

3.1 联测方位角确定

在带权超网络中，因航天测控预设阵地定向而产生的联测方位角包含延伸型、发散型两大类，分别如图 6 和图 7 所示。其中，延伸型联测方位角的起始节点“0”位于预设阵地的最右侧，各下级联测方位角按照关联排列的方式，分布于预设阵地的左侧区域^[9]。针对这种类型的联测方位角，需要严格记录每个节点所属的位置信息，再通过计算

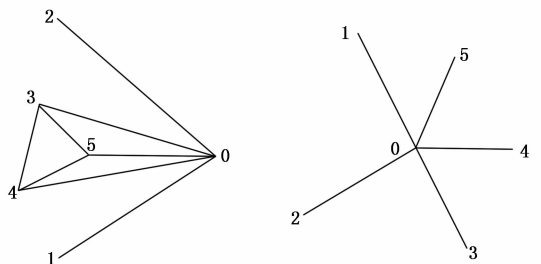


图 6 延伸型联测方位角确定 图 7 发散型联测方位角确定

“0”位置到其它节点物理距离的方式, 完成最终的定向确定处理。

发散型联测方位角的起始节点“0”位于预设阵地的中间位置, 各下级联测方位角按照“逆时针”排列方式, 分布于预设阵地的周围区域。针对这种类型的联测方位角, 需要紧密控制下级节点与起始节点间的物理距离, 再通过度量相连节点间网络位移差的方式, 完成最终的定向确定处理。

3.2 预设阵地的定向外力矩

外力矩是在航天测控预设阵地定向处理过程中, 因带权超网络偏移而产生的物理量, 受到航行转速、航行高度、网络向心力 3 个因素的共同限制。航行转速是指在带权超网络的固定高度水平上, 航天器测控装置的稳定自转速度, 包含水平分量、竖直分量两个组成部分, 前者可表示为 ω_1 、后者可表示为 ω_2 。在预设阵地总体数值条件保持不变的情况下, 航行转速只受高度水平的影响, 通常情况下, 所处高度离地球越远, 航行转速的物理数值也就越大, 反之则越小^[10]。航行高度是指航天测控装置真实高度与带权超网络固定高度间物理差的绝对值, 常表示为 $|h|$, 因定向外力矩对预设阵地的作用效果始终保持为正, 所以航行高度的真实数值也始终大于零。网络向心力是指带权超网络中心节点对航天测控装置的实际吸引力, 对预设阵地的定向处理起到正向促进作用, 可表示为 \bar{f} 。联立公式 (3), 可将航天测控预设阵地的定向外力矩计算结果表示为:

$$l = \frac{\lim_{\Delta F \rightarrow \infty} \sum_{k_1}^{k_2} \frac{\bar{f} \Delta F}{(\omega_1 + \omega_2)^\epsilon}}{|h| \sqrt{W^2 - d\mu}} \quad (4)$$

其中: ΔF 代表定向处理时间内航天测控预设阵地所受向心力的变化量, k_1 、 k_2 分别代表力矩作用效果的上下限应用系数, ϵ 代表航行转速的实际偏转量, d 代表定向作用条件, μ 代表预设阵地的抗压感知参量。

3.3 定向单片机

定向单片机执行由带权超网络发布的航天测控任务, 可根据预设阵地航行轨迹中的资源占用情况, 确定联测方位角、处置外力矩的实际作用效果, 由 HSL/HSO 芯片、定向执行器、负载电阻、信号接收器、定向判断开关 5 部分组成。如图 8 所示, HSL/HSO 芯片与核心网络主机相连, 能够借助传输导线, 干预单片机结构的导入行为, 进而实现航天测控预设阵地的初步定向处理。定向判断开关位于单片机左侧, 与执行器设备体相连, 在带权超网络中直接控制测控主机的接入行为, 并以数据流的形式, 将所有信息参量传输至预设阵地内部^[11-12]。信号接收器具备良

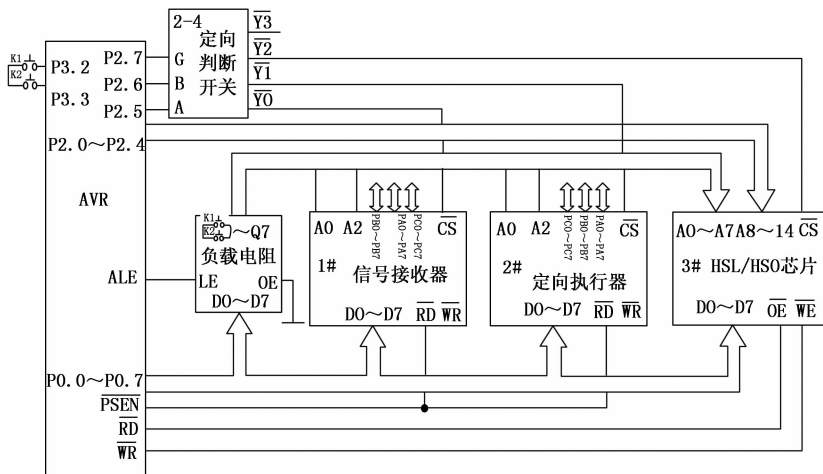


图 8 定向单片机结构图

好的无线感知能力, 可在超导测控波的促进下, 与定位单片机建立物理连接。负载电阻与定向执行器相匹配, 是定向单片机结构中的电子导流装置, 可根据航天测控行为的改变, 大致限定预设阵地的实际所处区域。至此, 完成所有参数处理及硬件结构搭建, 实现带权超网络航天测控预设阵地定位与定向方法的顺利应用。

4 应用比对分析

为验证带权超网络航天测控预设阵地定位与定向方法的实用性, 设计如下对比实验。在模拟平台中, 设置两台执行状态完全相同的航天执行器作为实验对象, 对实验组执行器实施新型定位与定向方法, 对对照组执行器不实施任何干预手段。在既定监测时间内, 分别记录 D-S 系数、P-S 系数的具体变化情况。

4.1 实测环境建立

在带权超网络环境中, 可按照如表 1 搭建实验所需监测平台。

表 1 实验监测环境

设备名称	型号(参数)
航天监测主机	OptiPlex 7070MT
航天器型号	OV-104
测控芯片型号	TMS320F28027FPTT
定位单片机型号	LPC1112FDH20/102
定向单片机型号	LPC2368FBD100

为突出实验处置的公平性, 实验组、对照组平台连接系数始终保持一致。

4.2 D-S 系数

D-S 系数直接影响航天测控预设阵地的定位精准性, 通常情况下前者数值越大, 后者能力越强; 反之则越弱。实验组、对照组 D-S 系数的具体变化情况如图 9 所示。

分析图 9 可知, 实验组 D-S 系数从第 30 min 开始, 出

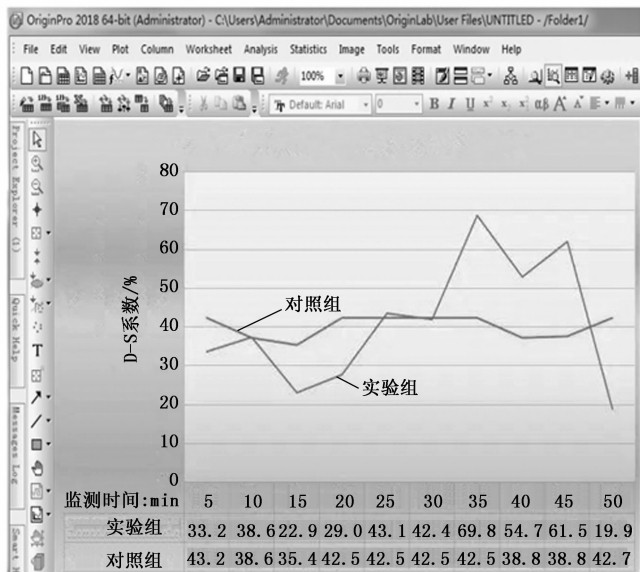


图 9 D-S 系数对比图

现明显上升的变化趋势，直至第 35 min 达到最大值 69.8%；对照组 D-S 系数在整个实验过程中，基本始终维持相对稳定的变化趋势，全局最大值仅达到 42.7%，远低于实验组数值水平。综上可知，应用带权超网络航天测控预设阵地定位与定向方法，可使 D-S 系数呈现明显上升的变化趋势，对航天测控预设阵地的定位精准性起到极强促进作用。

4.3 P-S 系数

P-S 系数直接影响航天测控预设阵地的定向精准性，通常情况下前者数值越大，后者能力越强；反之则越弱。图 10 反应了实验组、对照组 P-S 系数的具体变化情况。

分析图 10 可知，随着实验时间的增加，实验组 P-S 系数出现先上升、再稳定的变化趋势，全局最大值达到

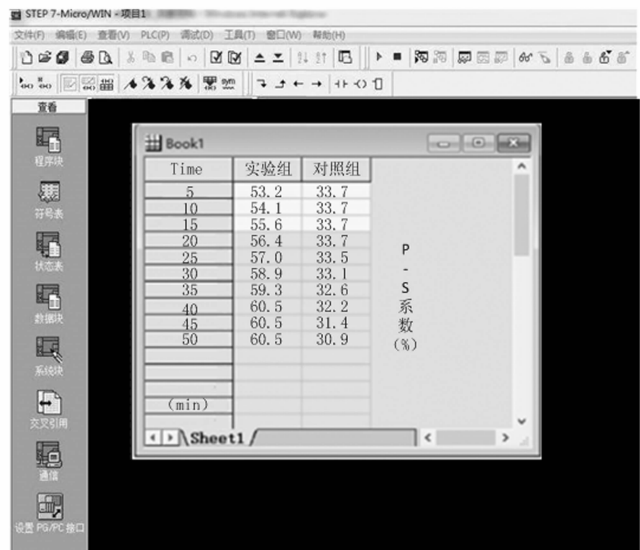


图 10 P-S 系数对比图

60.5%；对照组 P-S 系数在出现阶段性稳定状态后，开始持续下降，最大值仅能达到 33.7%，远低于实验组数值水平。综上可知，应用带权超网络航天测控预设阵地定位与定向方法，可促进 P-S 系数的不断提升，进而使航天测控预设阵地的定向精准性大幅增强。

5 结束语

在带权超网络的干预下，航天测控预设阵地的定位与定向方法联合射频电路、微型处理器等硬件设备，布施所有节点组织，再根据预设阶段划分、联测方位角确定等原理，实现最终的定位与定向处理。从实用性角度来看，D-S 系数、P-S 系数均出现明显的上升趋势，实现对航天阵地所处位置的精准性控制。

参考文献:

- [1] 闫迪, 李晓宇, 帅玮祎, 等. 软件化航天测控接收机的组件调度方法 [J]. 电讯技术, 2019, 14 (8): 891-896.
- [2] 王建平. 一种 GPS 有源天线射频电路的设计方法 [J]. 电子设计工程, 2018, 26 (24): 79-83.
- [3] 张宏烈, 周健, 张素兰, 等. 三值光学处理器的 MSD 数据正/负值判断器设计与实现 [J]. 计算机研究与发展, 2017, 54 (6): 1391-1404.
- [4] 张昆, 郑方, 谢向辉. 以访存为中心的阵列众核处理器核心流水线设计 [J]. 计算机工程与科学, 2017, 39 (12): 2167-2175.
- [5] 王帆, 陈建国, 高跃明, 等. LED 诱导与 CCD 采集的基因芯片扫描仪设计 [J]. 电子测量与仪器学报, 2018, 26 (5): 68-73.
- [6] 郑煜坤, 王瑛, 李超, 等. 基于航路点布局的多目标网络结构优化方法 [J]. 北京航空航天大学学报, 2019, 45 (1): 1-9.
- [7] 彭乾隆, 范元勋. 电力加负载台测控系统建模与设计 [J]. 机床与液压, 2017, 45 (19): 132-135.
- [8] 张仲俊, 汪材印. 基于 STM32 单片机的四轴飞行器飞行系统设计 [J]. 集宁师范学院学报, 2017, 48 (6): 1976-1982.
- [9] 范昊鹏, 孙中苗, 刘晓刚, 等. 方位角对斜路径对流层延迟的影响研究 [J]. 大地测量与地球动力学, 2019, 39 (6): 634-638.
- [10] 李由, 孙兆伟, 叶东. 控制力矩受限的卫星姿态有限时间鲁棒控制算法 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2018, 50 (4): 15-20.
- [11] 高魁, 刘泽功, 刘健, 等. 定向聚能爆破弱化综掘工作面逆断层应用研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2019, 38 (7): 1408-1419.
- [12] 刘四新, 王文天, 傅磊, 等. 基于 BS-MUSIC 的定向钻孔雷达三维成像算法 [J]. 地球物理学报, 2017, 60 (12): 4928-4937.