

文章编号: 1672-2892(2010)03-0269-04

## 方位录取系统的设计与实现

苏桂芝, 刘 健, 邵 威

(中国电子科技集团 第 38 研究所, 安徽 合肥 230031)

**摘 要:** 雷达中的方位录取系统会直接影响到雷达的测量准确度, 为了实现自动录取多种不同的角度传感器送出的天线方位角信息, 本文设计了一种多功能的方位录取系统。介绍了角度传感器输出信号的测量原理、多功能方位信息处理单元的结构组成以及定北仪的工作原理, 阐述了该方位录取系统的主要硬件实现电路和数据融合处理的工作流程。在实际应用中证明了该系统完全满足雷达的准确度要求。

**关键词:** 动目标; 方位角; 角度传感器; 数据融合

**中图分类号:** TN953<sup>+</sup>.5

**文献标识码:** A

## Design and implementation of azimuth-recording system

SU Gui-zhi, LIU Jian, SHAO Wei

(The 38th Research Institute of CETC, Hefei Anhui 230031, China)

**Abstract:** The azimuth-recording system can affect the measuring precision of radar directly. To realize the auto recording about azimuth of antenna exported by various angle sensors, a multifunctional azimuth-recording system was designed. The measuring elements of angle sensor, the structural composition of multifunctional azimuth-processing unit and the working principle of north-finder, were discussed. The primary hardware of this system and the flow of data fusion were described in detail. It was proved by practical application that the accuracy of this system was sufficient for radar precision.

**Key words:** moving target; azimuth; angle sensor; data fusion

方位录取系统是雷达必不可少的设备之一, 用来完成对雷达天线跟踪方位角度的测量, 雷达方位录取系统的测量准确度会直接影响雷达观察目标位置的准确度<sup>[1]</sup>。测角传感器是方位录取系统中的重要检测元件<sup>[2]</sup>, 各种测角传感器如同步机、旋转变压器、方位码盘等广泛应用于各种雷达设备中。随着嵌入式技术和数字信号处理技术的发展, 方位录取系统通过微处理器将测角传感器输出的方位模拟信号转换成方位数字信号, 并对方位信息进行处理和运算, 最终提供给雷达的终端系统、数字信号处理系统及其他分系统使用。

### 1 系统总体组成设计

系统的总体构成如图 1 所示, 主要由方位组合、多功能方位信息处理单元和定北仪组成。系统中的多功能方位信息处理单元以 PC/104 总线的嵌入式计算机为核心, 其优点在于硬件性能优越, 成熟可靠, 结构标准, 更新换代容易, 可以扩充电子硬盘、彩色显示卡、键盘接口、打印机接口以及各种可选配的功能卡。同时它拥有丰富的软件资源, 如各种操作系统的支持环境以及可配置的各种工具软件<sup>[3]</sup>。该方位录取系统对来自方位组合的同步机或旋转变压器的方位模拟信号进行采集, 变换成数字方位信号, 还能对方位

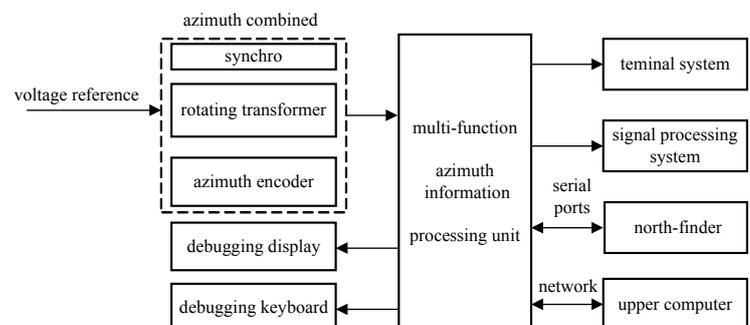


Fig.1 Block diagram of system design

图 1 系统设计总体框图

码盘传感器的脉冲式方位信号进行提取。本系统通过网络接收远端上位机发来的定北仪控制命令,对其电源进行远程开/关机控制、测量方位角的遥控控制,并接收其发来的测量方位角数据,由 PC/104 计算机进行运算,计算出天线的正北方位角。

## 2 方位组合

方位组合由测角传感器和结构件组成,安装在天线座的底盘上,当天线转动时,天线座底盘带动测角传感器转动,使其输出模拟的方位角信号。

### 2.1 同步机

当系统采用同步机时,转子加交流激励电压,并随天线同步转动。定子有三相空间位置互差  $120^\circ$  的绕组,转子的交变磁场在定子绕组产生同频率的感应电压,电压幅度随转子转角(即天线方位)而变。三相定子电压为幅度受方位角正弦函数调制而包络相位互差  $120^\circ$  的交流电压,其数学表达式为:

$$e_1 = E_m \sin \theta \sin 2\pi ft \quad (1)$$

$$e_2 = E_m \sin (\theta - 120^\circ) \sin 2\pi ft \quad (2)$$

$$e_3 = E_m \sin (\theta + 120^\circ) \sin 2\pi ft \quad (3)$$

式中:  $\theta$  为同步发送机转角(天线方位角);  $E_m \sin 2\pi ft$  为输入激励电压;  $f$  为激励电压频率。

### 2.2 旋转变压器

当系统采用旋转变压器时,其输入信号为:

$$E_{R_1, R_2} = E \sin 2\pi ft \quad (4)$$

输出信号为:

$$E_{s_1, s_3} = K \sin 2\pi ft \cos \theta \quad (5)$$

$$E_{s_2, s_4} = K E \sin 2\pi ft \sin \theta \quad (6)$$

式中:  $\theta$  为旋转轴角度(天线方位角);  $K$  为传输比,其输出信号是代表角度的  $\sin \theta$  和  $\cos \theta$  两正交信号<sup>[4]</sup>;  $R_1, R_2$  代表旋转变压器输入激励信号的2个端子;  $s_1, s_3$  代表旋转变压器输出  $\cos \theta$  信号的2个端子,  $s_2, s_4$  代表旋转变压器输出  $\sin \theta$  信号的2个端子。

### 2.3 方位码盘

系统采用 12 位方位编码器时,它的主要功能:输入直流电源,输出 RS422 差分信号的基准脉冲和两路增量脉冲,两路增量脉冲在相位上相差  $90^\circ$ 。

## 3 多功能方位信息处理单元

多功能方位信息处理单元主要由 PC/104 嵌入式计算机、传感器检测电路、模数转换器、FPGA 电路和接口驱动电路组成。以系统使用同步机为例, Y 型接法的同步机定子绕组的第二相电压  $e_2$  接地,由另两相输出  $e_1$  和  $e_3$ ,经斯柯特变换电路变换后,得幅度受方位角正、余弦函数调制的正弦电压  $e_s$  和余弦电压  $e_c$ ,其数学式表达为:

$$e_s = E_m \sin \theta \sin 2\pi ft \quad (7)$$

$$e_c = E_m \cos \theta \sin 2\pi ft \quad (8)$$

$e_s, e_c$  和激励电压  $e$  的波形图如图 2 所示。这一波形图是在天线匀速转动时输出信号的函数曲线。方位信息就包含在正、余弦电压的幅度之中。利用相敏检波器,可取得正、余弦电压的幅值  $e_{sm} = E_m \sin \theta$  和  $e_{cm} = E_m \cos \theta$ ,用  $e_{sm}$  值除以  $e_{cm}$  值,便得式(9);作反正切变换就得方位角值式(10)。

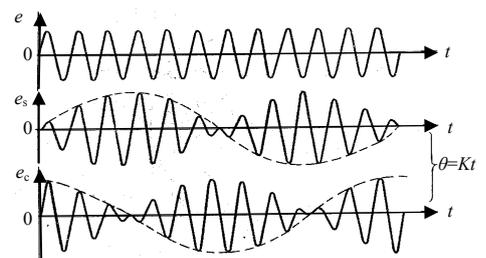


Fig.2 Waveform of sine, cosine voltage  
图2 正弦、余弦电压波形

$$\frac{e_{sm}}{e_{cm}} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \tan \theta \tag{9}$$

$$\theta = \arctan \frac{e_{sm}}{e_{cm}} \tag{10}$$

反正切函数在 360°范围内是多值函数，为了得到唯一解，需要把反正切函数变为单值函数，把求解范围限制在一个卦限(45°)之内，就能求得唯一的方位角  $\theta$  值。

### 4 定北仪

定北仪采用高准确度动力调谐扰性陀螺仪，能感应地球自转角速率的水平分量，它能快速、准确地测量载体方位基准与地理真北的方位角<sup>[5]</sup>。简要工作原理：设  $X, Y$  为陀螺的 2 个测量轴，定北装置的测量基准  $X$  与载体测量基准线(天线的方位基准线)重合。当测量基准线与地球真北方向处于一个固定夹角  $\psi$  时：

$$\omega_X = \omega_n \cos \psi = \omega_e \cos \phi \cos \psi \tag{11}$$

$$\omega_Y = \omega_n \sin \psi = \omega_e \cos \phi \sin \psi \tag{12}$$

式中： $\phi$  是陀螺仪测得的角度(载体方位基准与地理真北的角度)； $\omega_X, \omega_Y$  分别是陀螺仪  $X, Y$  测量轴的角速度； $\omega_n$  为测量水平分量。根据陀螺仪的测量原理，在其输出轴  $X, Y$  上，得到正比于  $\omega_X, \omega_Y$  的 2 个电流  $I_X, I_Y$ ，且在其采样电阻  $R_X, R_Y$  上取得电压信号  $U_X, U_Y$ ，令  $K_X, K_Y$  分别为  $X, Y$  轴标度因数，且  $R_X = R_Y$ ，则：

$$\psi = \arctan K \frac{U_Y}{U_X} \tag{13}$$

式中： $U_X, U_Y$  是螺仪测量输出的模拟值； $K$  为比例系数，再加上象限判断，就可以计算出被测方位角  $\psi$ ，通过模拟/数字转换后即可进行数字传输。

### 5 系统实现

在实际的工程应用中，采用 FPGA, AD2S82 等器件，可以实现多种角传感器的方位录取功能<sup>[6]</sup>，下面给出其主要的变换电路以及数据融合处理过程。

#### 5.1 斯柯特变换电路

斯柯特变换电路如图 3 所示，当测角传感器使用同步机时，接通斯柯特变换电路，2 个运算放大器将两相相位相差 120°的交流信号变换成两相相位相差 90°的交流信号，即： $e_c = \dot{E}_1 - \dot{E}_3$  和  $e_s = -\dot{E}_1 - \dot{E}_3$ ，该信号送至 AD2S82 进行模数转换。

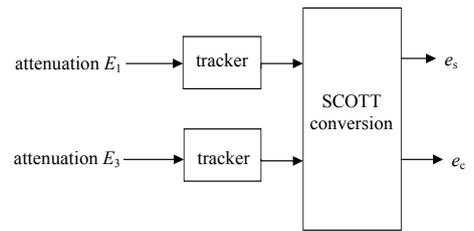


Fig.3 SCOTT conversion circuit diagram  
图3 斯柯特变换电路图

#### 5.2 模拟/数字转换电路

模拟/数字转换电路如图 4 所示，用来对同步机或旋转变压器的方位模拟信号进行转换。AD2S82 芯片是 AD 公司生产的跟踪式旋转变压器-数字转换器(R/D 转换器)<sup>[7]</sup>，它具有以下主要特点：能提供 10 bit, 12 bit, 14 bit 或 16 bit 的分辨力，供用户选；输出并行的二进制码，提供给单片机或 DSP 等控制芯片读取；采用比率跟踪转换方式，使之能连续输出位置数据而没有转换延迟；具有较强的抗干扰能力和远距离传输能力；具有很高的跟踪速度，10 bit 分辨力时的最大跟踪速度为 1 040 rps。

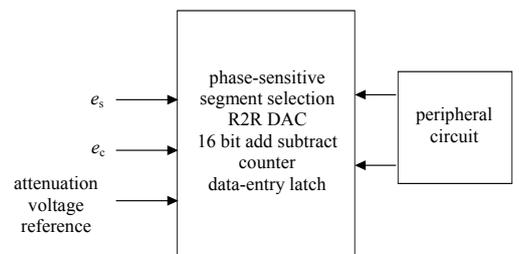


Fig.4 Analog/digital conversion circuit diagram  
图4 模拟/数字模数转换电路图

#### 5.3 数据融合处理

多功能方位信息处理单元中的 PC/104 计算机担负着数据融合处理的任务。本系统采用 VxWorks 实时操作系统平台，它包括一个微内核，可以提供强大的网络支持、文件系统和 I/O 管理、C++编程环境支持等各种模块。软件处理过程：系统引导成功后进入用户程序入口，首先开始任务的初始化，其主要包括初始化系统时钟，读取工作参数配置文件，控制端口复位，网络初始化等，并开始

按图5所示的流程执行任务。

#### 5.4 系统的输出信号

当输入信号来自同步机时，最大跟踪比率设为1.5 rps，转换精度14 bit。

当输入信号来自旋转变压器时，最大跟踪比率设为16 rps，转换精度14 bit。

## 6 结论

该方位录取系统具有可靠性高、测量准确度高等优点，可以接入多种方位测角传感器。并且采用模块化设计，通用性强。该方位录取系统在多种型号气象、航空管制雷达上得到了成功的应用，且完全满足雷达测量准确度的要求，对其他的角度测量系统有一定的参考价值。

#### 参考文献：

- [1] 王宏杰. 基于自整角机的雷达方位角测量系统研究[J]. 雷达与对抗, 2007(3):44-46.
- [2] 刘君华. 现代检测技术与测试系统设计[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2000.
- [3] 李更祥. 嵌入式计算机应用于相控阵雷达机内测试设备的设计[J]. 计算机自动测量与控制, 2001,9(2):59-62.
- [4] 张敏. 斯科特变压器电子化方法的研究[J]. 电工电气, 2009(8):16-17.
- [5] 谭斌. 高机动雷达自动定向技术实际应用中的问题研究[J]. 机械工程, 2009,25(2):24-25.
- [6] 陶荣辉,陈惠连. 一种雷达脉冲的去交错和识别新算法[J]. 信息与电子工程, 2005,3(1):18-21.
- [7] 金敬强. 旋转变压器信号接口电路的设计与实现[J]. 电脑开发与应用, 2007,20(5):54-56.

#### 作者简介：



苏桂芝(1960-), 女, 广西省罗城县人, 工程师, 主要从事雷达监控系统设计.email:sgz yaoyao@126.com.

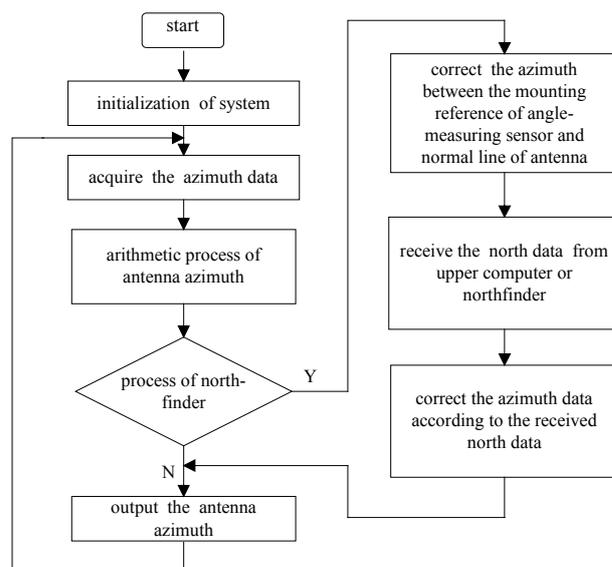


Fig.5 Flow chart of data fusion processing

图5 数据融合处理流程图

刘健(1976-), 男, 安徽省泗县人, 助理工程师, 主要从事雷达监控系统设计。

邵威(1984-), 男, 安徽省安庆市人, 助理工程师, 主要从事模式识别与智能监控的研究。