

基于 CAN 总线的多天线控制器设计及 PID 实现

宗 慧

(南京工程学院, 江苏 南京 210000)

摘 要:为了实现对侦察雷达多部天线的计算机控制,天线控制系统采用了基于 CAN 总线的系统结构。基于对天线方位信号数字化原理的分析,设计了位置随动旋转编码器接口电路,给出了天线控制系统的 PID 控制算法,通过调整 PID 参数,较好地控制了天线的转动,简化了天线控制系统的结构,实现了一个控制台对多部天线的控制。

关键词:CAN 总线; 天线方位; 方位信号; PID 控制

中图分类号:TN82-34

文献标识码:A

文章编号:1004-373X(2010)23-0122-03

Design of Multi-antenna Controller Based on CAN Bus and Realization of PID Algorithm

ZONG Hui

(Nanjing Institute of Technology, Nanjing 210000, China)

Abstract: The structure based on CAN bus is adopted for an antenna control system to realize the computer control over multiple antennas on radar reconnaissance equipment. The interface circuit of rotary encoder was designed by analyzing the principle of antenna azimuth signal digitalization. The PID control algorithm for antenna control systems is presented. With the adjustment of PID parameters, the antenna rotation is controlled perfectly, the structure of antenna control system is simplified and the control of multiple antennas is realized.

Keywords: CAN bus; antenna azimuth; azimuth signal; PID control

0 引 言

雷达侦察设备由于要对从几百兆赫至几十吉赫的频段进行侦察接收,为了保证天线的电气特性,同时便于跟踪不同波段的多个目标,往往采用多部天线。以往对天线的控制多采用相互独立的方式,每一部天线有对应的一套控制系统,其结果不仅是设备量大,故障率高,而且操作起来也不方便。为了简化对多部天线的控制,可以利用 CAN 总线的优势。CAN (Controller Area Network) 总线^[1-3]为多主总线,具有点对点,一点对多点通信的功能,它采用非破坏性总线仲裁技术,可以根据总线上不同节点的优先级高(低)安排数据的传输次序,节省了总线仲裁时间,通信距离最远可达 10 km (5 Kb/s),通讯速率最高可达 1 Mb/s (40 m)。此外, CAN 协议能够对通信数据进行编码,使得网络内的实际节点数可达 100 个以上。某雷达侦察设备中共有八部天线,对应于六个不同的波段,每部天线作为一个节点,操作台作为上位节点,通过设计灵活地控制软件,完成对各天线扫描方式、扫描速度及扫描范围的设定及 PID 控制。

1 CAN 总线多天线控制系统的组成

多天线控制系统由本地控制组件、CAN 总线和天线控制器组成,如图 1 所示。其中本地控制组件包括本控制面板、电源、微处理器和电机驱动电路,负责天线的位置信息采集和电机控制算法的实现;CAN 总线采用 CAN 2.0B 标准协议进行数据传输,接口芯片采用 SJA1000^[4],完成物理链路层和数据链路层两层功能;天线控制器包括显示面板、控制按键、手轮、微处理器等,用于接收用户操作指令,显示指定天线的状态和控制天线的运动方式。

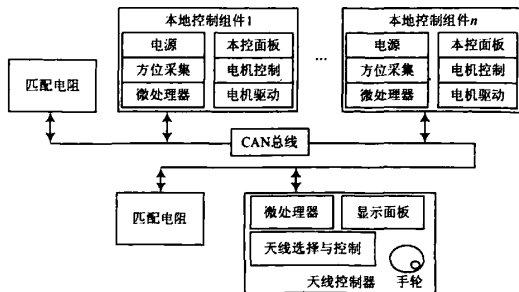


图 1 多天线控制系统的组成框图

在由 CAN 总线构成的天线控制系统中,天线控制

器和本地控制组件各分配一个固定的 CAN 网络地址, 天线控制器通过面板选择所要控制的天线编号, 将该天线的工作方式(扇扫、环扫、手动)、工作参数(扇扫边界、扫描速度)等发送到所选天线的本地控制组件, 再由本地控制组件根据天线控制器给出的控制算法, 实现对天线的控制, 并将天线的当前参数(方位、转速、转向)通过 CAN 总线传送到天线控制器上显示。手动方式时, 所选天线的本地控制组件根据天线控制器手轮的控制信息和跟随算法, 实现对天线的手动位置控制。

2 方位传感器的数字化设计

在对天线位置信息的采集中, 方位传感器采用同步机电路^[5]实现。其中, 定子线圈加入工频激磁电压, 转子的三相电压幅度受定子与转子相对角度的调制, 三个转子线圈之间相互间隔 120°放置。在模拟信号传输中, 同步接收机会根据三相电压幅度的变化跟随同步机做同步旋转, 达到传输角度信号之目的。为了便于与微处理器的连接, 输出的方位信号还必须做数字化处理。

设同步机定子加激磁电压 $V_0 = V_m \sin \omega t$, 三个转子线圈的电压方程为:

$$V_1 = KV_m \sin\left(\frac{\theta}{180}\pi\right) \sin \omega t \tag{1}$$

$$V_2 = KV_m \sin\left(\frac{\theta - 120}{180}\pi\right) \sin \omega t \tag{2}$$

$$V_3 = KV_m \sin\left(\frac{\theta - 240}{180}\pi\right) \sin \omega t \tag{3}$$

式中: K 为转子绕组与定子绕组的变压比; θ 为转子相对于定子的转角; ω 为工频激磁电压的角频率。

由此可知, 在激磁电压正峰值时, 对三个电压取值, 则 V_1, V_2, V_3 与转角 θ 的关系为:

$$V_{1m} = KV_m \sin\left(\frac{\theta}{180}\pi\right) \tag{4}$$

$$V_{2m} = KV_m \sin\left(\frac{\theta - 120}{180}\pi\right) \tag{5}$$

$$V_{3m} = KV_m \sin\left(\frac{\theta - 240}{180}\pi\right) \tag{6}$$

将转角 θ 从 $0 \sim 360^\circ$ 划分为 12 个区间, 每个区间 30° , 则可将同步机三相电压幅度随转子角度变化的曲线绘制如图 2 所示。

如果用 $V_1 - V_2, V_2 - V_3, V_3 - V_1$ 以及 V_1, V_2, V_3 中绝对值最小的信号 V_x 的极性来表示这 12 个区间, 则很容易得到各区间的二进制代码, 如表 1 所示。例如: 当 θ 角在 $0 \sim 30^\circ$ 时, $V_1 - V_2$ 为正, $V_2 - V_3$ 为负, $V_3 - V_1$ 为正, 而此时 V_1 的绝对值最小, 即 $V_x = V_1$, 其值为正, 则该区间可以用 $(1011)_2$ 表示。

进一步, 对此时的 V_x 信号做归一化处理后再进行

反正弦运算, 其结果是单调的, 且计算出的角度值 α 介于 $0 \sim 30^\circ$ 之间。根据 θ 角所在的区间, 就可求出当前天线的方位。

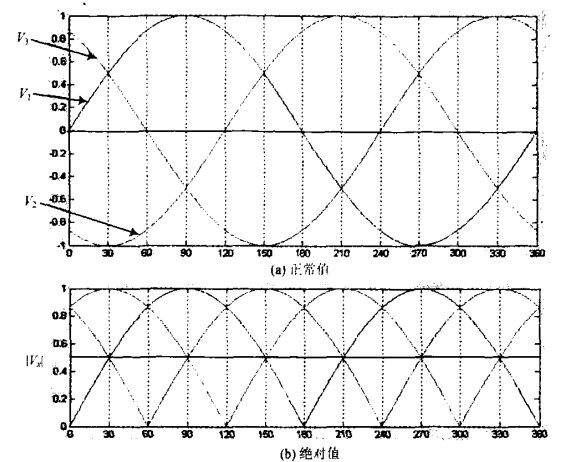


图 2 同步机三相电压幅度随转子角度变化曲线图

表 1 方位角分区及角度计算表

区间	θ 角范围 / ($^\circ$)	V_x	$V_1 - V_2$	$V_2 - V_3$	$V_3 - V_1$	区间代码	角度 θ / ($^\circ$)
1	$0 \sim 30$	V_1	1	1	0	1	α
2	$30 \sim 60$	V_3	1	1	0	9	$60 - \alpha$
3	$60 \sim 90$	V_3	0	1	0	1	$60 + \alpha$
4	$90 \sim 120$	V_2	0	1	1	3	$120 - \alpha$
5	$120 \sim 150$	V_2	1	1	1	0	$120 + \alpha$
6	$150 \sim 180$	V_1	1	0	1	0	$180 - \alpha$
7	$180 \sim 210$	V_1	0	0	1	2	$180 + \alpha$
8	$210 \sim 240$	V_3	0	0	1	6	$240 - \alpha$
9	$240 \sim 270$	V_3	1	0	1	1	$240 + \alpha$
10	$270 \sim 300$	V_2	1	0	0	1	$300 - \alpha$
11	$300 \sim 330$	V_2	0	0	0	4	$300 + \alpha$
12	$330 \sim 360$	V_1	0	1	0	1	$360 - \alpha$

根据以上分析, 可以将方位信号数字化过程简述如下: 在激磁工频信号的正峰值点生成采样脉冲信号 CP0 和微处理器中断信号 CP1, 控制三路采样保持电路同时对分压后的同步机三相电压进行采样保持, 选择绝对值最小的一路信号送 A/D 转换器, 同时判断其正负; 区间代码生成电路根据对三路采样信号的和最小信号的正负, 确定 θ 角所处区间的代码; 微处理器响应中断, 启动 A/D 转换, 求得 α 值, 同时读取 θ 角所处区间代码, 根据表 1 给出的区间计算公式, 确定 θ 角的具体数值送本地面板显示, 并通过 CAN 总线上传天线控制器。

方位数字化电路原理框图如图 3 所示。

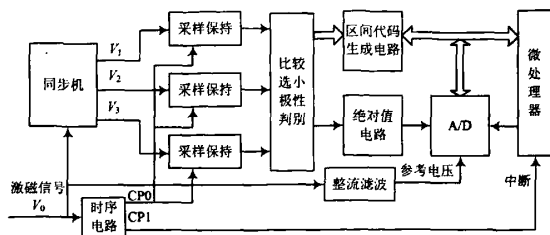


图 3 方位信号数字化电路原理框图

从图 2 可以看出,在 $0 \sim 30^\circ$ 区间内正弦曲线可近似为线性区间,为进一步提高精度,可以按照正弦函数曲线对 A/D 转换进行补偿,以满足精确测量的需要。同时,为避免因激磁电压的波动引起 A/D 转换后的数值在区间之间的跳动,A/D 转换器的参考电压应与激磁电压的幅度按比例浮动。

3 位置随动旋转编码器接口设计

旋转编码器^[6]是随动控制中常用的接口部件,这里选用增量式旋转编码器,它由涂有莫尔条纹的编码盘和光电检测装置构成,编码盘上涂有两道相差 90° 的黑白相间栅,分别称之为 A 道和 B 道。工作时,光电检测器发出可见光照射在编码盘上,当编码盘旋转时,光发射管装置照过栅,光敏接收管便会产生通(断)的脉冲输出信号。由于 A、B 道相位差为 90° ,因此其输出脉冲也有 90° 的相差。当旋转编码器正转时, A 信号超前 B 信号 90° ;反转时, B 信号超前 A 信号 90° 。

如果直接采样 A、B 两路信号,电路结构会比较复杂。为便于计算机处理,可将旋转编码器的 A、B 两路信号进行适当变换,生成方向信号 DIR 和增量计数脉冲 CLK。图 4 给出了旋转编码器的接口电路以及相应的波形。为防止因机械转动带来的波形边缘的抖动,接口电路的输入应采用施密特型。

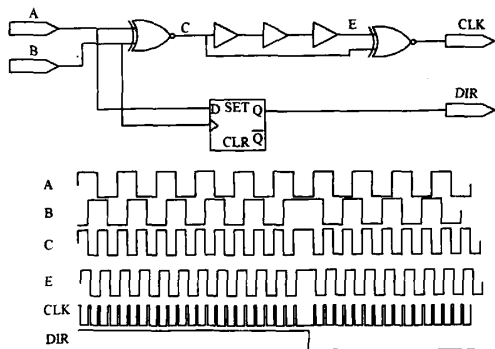


图 4 旋转编码器接口电路及其波形

图 4 中 C 点的方波周期是 A 或 B 信号周期的 $1/2$ 。为了在手轮低速转动时,防止由于 A 或 B 信号周

期过大而影响计数器的正常工作,可将 C 点波形与经缓存器延迟后的波形 E 相异或,从而得到增量计数脉冲 CLK,其周期应是 C 周期的 $1/2$,即为 A 或 B 信号周期的 $1/4$,实现 A 或 B 信号频率的四倍频细分。为便于计算机识别手轮的转动方向,电路中增加了方向信号 DIR,当旋转编码器正向转动时, A 信号超前 B 信号 90° ,此时 DIR 输出为高电平;反之, DIR 输出为低电平。

4 天线的 PID 控制

图 5 给出了天线的 PID 控制原理^[7]。如图 5(a)所示^[8],在连续控制系统中, PID 的控制规律可以写成如下形式:

$$u(t) = k_p \left[\epsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \epsilon(t) dt + T_d \frac{d\epsilon(t)}{dt} \right] \quad (7)$$

式中: $u(t)$ 为 PID 控制器的输出或称为被控对象的控制输入; $\epsilon(t)$ 为偏差; K_p 为比例系数; T_i 为积分时间常数; T_d 为微分时间常数。

为在数字系统中实现 PID 控制,需将连续 PID 控制规律离散成离散型 PID 控制规律,即用差分方程来表示:

$$u(k) = K_p \left[\epsilon(k) + \frac{1}{T_i} \sum_{i=0}^k T_0 \epsilon(k-i) + T_d \frac{\epsilon(k) - \epsilon(k-1)}{T_0} \right] \quad (8)$$

为适应计算机的递归运算,可将式(8)改写为式(9)递归方式:

$$u(k) = u(k-1) + K_p \left\{ \epsilon(k) - \epsilon(k-1) + \frac{T_0}{T_i} \epsilon(k) + \frac{T_d}{T_0} [\epsilon(k) - 2\epsilon(k-1) + \epsilon(k-2)] \right\} \quad (9)$$

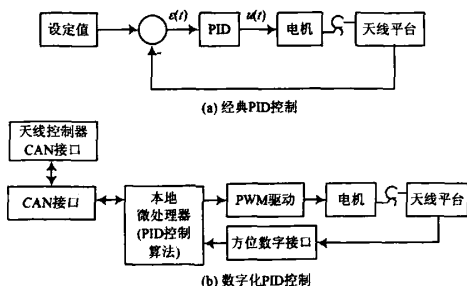


图 5 天线的 PID 控制原理图

天线的离散型 PID 控制方案如图 5(b)所示。在该方案中,天线的工作方式分为自动扫描和手动扫描两种。自动扫描方式下,天线控制器选择设定相应天线的扫描转速。由于不同波段的天线尺寸不同,各个天线

(下转第 128 页)

4 结 语

采用 Atmel 公司的 AVR 系列单片机中的 Atmega 16L 为核心,结合红外线光电开关,实现了底片张数的统计以及对不同位置的底片进行自动定位,系统能方便地找到所想要的底片,从而对底片进行放大等处理。该底片自动查找系统就是为了实现这些功能而设计的一种全自动间隔检索设备。本设计主要是为了解决底片查找时,针对人工方式所产生效率低的问题而设计的一种实用系统,从而极大地提高了生产效益。

本文的创新点是利用红外线反射式传感器实现了底片自动定位的功能;系统能实现底片张数的自动统计、目标底片保存和自动查找的功能;具有性能稳定、性价比、电路简洁、自动化程度高的特点。

参 考 文 献

- [1] 李泓. AVR 单片机入门与实践应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2008.
- [2] 刘鲲,孙春亮. 单片机 C 语言入门[M]. 北京:人民邮电出版

社,2008.

- [3] 陈章达. AVR 嵌入式控制器在直流电动机控制中的应用研究[J]. 成都电子机械高等专科学校学报,2009,12(3): 16-20.
- [4] 王磊,艾晓鹰,朱齐丹. 基于 LMD18200 组件的直流电机驱动器的设计[J]. 自动化与仪表,2004(1):26-27.
- [5] 彭同明,徐学勤. 单片机原理及应用[M]. 北京:中国电力出版社,2005.
- [6] 耿德根,宋建国,马潮,等. AVR 高速嵌入式单片机原理与应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001.
- [7] 丁化成. AVR 单片机应用设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [8] 马潮. AVR 单片机嵌入式系统原理与应用实践[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- [9] TAMMY Noergaard. 嵌入式系统硬件与软件架构[M]. 北京:人民邮电出版社,2008.
- [10] 金春林,邱慧芳,张喜喜. AVR 系列单片机 C 语言编程及应用实例[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [11] 邵联合,许红兵. 基于 AVR 单片机的数字 PID 调节器设计[J]. 现代电子技术,2010,33(3):140-142.

作者简介:吴震男,1972 年出生,江苏江阴人,讲师。主要研究方向为自动化控制与嵌入式系统,PLC 教学及研究。

(上接第 124 页)

转台的转动惯量也不尽相同,因此需要通过调整相应天线的比例积分和微分常数,来使天线的控制达到期望的特性。而在手动扫描时,天线控制器将手轮的转动控制,经位置随动旋转编码器变换为对天线的控制输出^[9],通过 CAN 总线实时传递给指定天线的本地控制组件,由本地控制组件中的 PID 控制算法实现对天线的手动控制,从而达到手动跟踪目标之目的。

5 结 语

CAN 总线技术已在工业控制中得到广泛应用。本系统采用 CAN 总线,结合天线方位的数字化接口设计,将分布式微处理器联系起来,实现了多天线的数字化 PID 控制,简化了天线控制系统的设计,保证了天线控制的精度与稳定性。

参 考 文 献

- [1] 王黎明. CAN 现场总线系统的设计与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2008.

- [2] 赵家志,周云耀. 基于 CAN 总线分布式数字吊杆控制系统设计[EB/OL]. [2009-07-25]. <http://www.paper.edu.cn>.
- [3] 史久根,张培仁,陈真勇. CAN 现场总线系统设计技术[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [4] Philips Semiconductors. SJA1000 Stand-alone CAC controller AN97076 [M]. Holland: Philips Semiconductors, 2008.
- [5] 梅晓榕,柏桂珍,张卯瑞. 自动控制元件及线路[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [6] 缪靖,王小椿,姜虹. 基于 FPGA 的光电编码器四倍频电路设计[J]. 仪表技术,2007(6):17-18.
- [7] 刘金琨. 先进 PID 控制及其 Matlab 仿真[M]. 2 版. 北京:电子工业出版社,2004.
- [8] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- [9] 余永权,李小青,陈林康. 单片机应用系统的功率接口技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1992.
- [10] 薛定宇. 反馈控制系统分析与设计:Matlab 语言应用[M]. 北京:清华大学出版社,2000.

作者简介:宗慧女,1963 年出生,江苏南京人,工学硕士,讲师。主要研究方向为通信与信息系统。

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>