

· 天线控制系统 ·

中图分类号: TN820.3

文献标志码: A

文章编号: 1004-7859(2012)03-0058-03

机动雷达大惯量天线定位控制策略

施勤, 万霞, 熊纬

(南京电子技术研究所, 南京 210039)

摘要: 由于机动雷达大惯量天线的加速度受限, 所以在加速度无法提高的前提下, 如何减少大惯量天线的转动中定位时间尤为重要。文中提出了一种特殊的机动雷达大惯量天线转动中定位控制策略—分区域定位控制策略, 比较这种控制策略与常规控制方法的优劣, 且基于以驱动器为速度内环的控制系统, 给出了采用单片机控制的位置环控制电路, 并简述了控制软件的实现方法。以实际控制模型为依托、以改善的定位时间为支撑、以简化的定位控制策略为主线, 详细介绍了这种新型控制策略的工程运用。

关键词: 惯量; 定位控制; 机动雷达

Position Control Strategy for Antenna with Great Inertia for Mobile Radar

SHI Qin, WAN Xia, XIONG Wei

(Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210039, China)

Abstract: The acceleration of the antenna with great inertia is limited and it can not be improved. Therefore, it is very important how to shorten the location time during the rotation of the antenna with great inertia. A location control strategy for antenna with great inertia of the mobile radar—the location control method as per the azimuth area is put forward in this paper. The control strategy is compared with the conventional control method. On the basis of the control system which takes the driver as the velocity inner loop, the hardware control circuit of the location loop controlled by the single chip microcomputer is given and the software implement method for the location loop is described. With the actual control mode as basis, the improved location time as support and the simplified control strategy as main clue, The practical application of this new control method is described in detail.

Key words: inertia; position control; mobile radar

0 引言

随着雷达技术的发展, 对机动雷达天线定位控制的快速性要求也越来越高。但机动雷达大惯量天线受制于载车结构形式等因素, 驱动控制的加速及减速时间无法缩短, 这种情况下如何缩短雷达天线的定位时间是很关键的问题^[1]。对于大惯量雷达天线转动过程中的定位, 由于接收定位指令时天线在旋转过程中, 将旋转中的大惯量天线停至指定位置所需的定位时间较长, 因此如何提高定位时间这一指标更为重要。本文提出的分区域定位控制策略, 通过预测停止位置、自动选择定位方案、分区域切换增益等控制手段, 较明显地缩短了大惯量天线转动中定位的时间。

1 控制系统组成

如图1所示, 由各类伺服驱动器构成控制内环, 通过雷达天线的目标角度 σ_p 、实际方位角度 σ_a 实现位置闭环控制。位置环校正环节执行优化控制策略^[2]。

图1中位置传感器可以是旋转变压器等雷达方位角度检测装置。

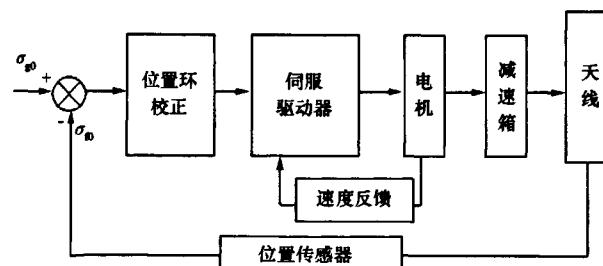


图1 控制系统组成框图

2 常规控制策略

执行常规控制策略时, 控制系统接收到定位指令后立即进入位置闭环控制。由于雷达天线的加速度受到限制, 天线加减速需要的时间较长, 这种控制方法导致雷达天线在某些方位处收到定位指令时定位时间较长。

如图2a)所示, 雷达天线转动中, 在 θ_1 时接收到定位指令及定位方位角度 α , 如果天线减速至 0 r/min 时的位置角 θ_2 与要求的定位方位角 α 相差较大, 雷达天线需反向逼近定位位置, 反转所需的反向加速、恒速、减速, 造成定位时间较长。

3 方位分区域定位控制策略

把方位进行分区域控制的核心是依据对雷达天线

通信作者: 施勤 Email: shiqin411@126.com
收稿日期: 2011-12-08 修订日期: 2012-02-09

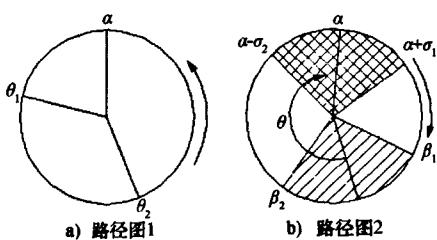


图 2 控制路径图

停止位置的预测,分区域执行不同的控制策略,使雷达天线停于定位角度附近,从而达到减小转动中定位时间的目的。

3.1 预测停止位置

如果能使雷达天线减速至零时的方位角在图 2b) 所示的 $\alpha+\sigma_1$ 、 $\alpha-\sigma_2$ 区域, 即 α 附近, 则定位所需的时间较短, 因此将雷达天线减速至 0 r/min 时的方位角预测至关重要。

设转动中开始定位至天线减速到速度 0 r/min 时天线转动的方位角度为 θ , 速度内环的减速度为 a , 减速时间设定为 Δt , 天线转动速度为 v , 则

$$\theta = \frac{1}{2}a\Delta t^2 = \frac{1}{2}a\left(\frac{v}{a}\right)^2 = \frac{1}{2}\frac{v^2}{a} \quad (1)$$

已知电机转速 $n_{\text{电机}}$, 减速箱传动比 i , 则以(°)为单位表示的天线转速 N 为

$$N = \frac{n_{\text{电机}}}{i} \quad (2)$$

将式(2)代入雷达天线的减速度计算公式, 可得到单位为(°)/s² 的减速度表达式

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\frac{2\pi}{60} \times N}{\Delta t} \times \frac{360}{2\pi} = \frac{6 \times n_{\text{电机}}}{i \times \Delta t} \quad (3)$$

将式(2)代入雷达天线的速度计算公式, 可得到单位为(°)/s 的速度表达式

$$v = \frac{360 \times N}{60} = \frac{6 \times n_{\text{电机}}}{i} \quad (4)$$

将式(3)、式(4)代入式(1), 则可以获得预测的角度值为

$$\theta = \frac{3 \times n_{\text{电机}} \times \Delta t}{i} \quad (5)$$

式中: 电机转速为 $n_{\text{电机}}$; 减速箱传动比为 i ; 减速时间为 Δt , 均为已知量。

例如, 传动比 $i=280$, 电机转 $n_{\text{电机}}=1800$ r/min, 减速时间 $\Delta t=10$ s, 则雷达天线减速至 0 r/min 时方位上需要转动 192.85°。

推导 β_1 、 β_2 的优选值公式较为复杂, 有待进一步研究, 本文第 4 节以 β_1 、 β_2 的具体取值为例, 通过对控

制策略的比较, 说明了依据 β_1 、 β_2 实现区域划分的分区域定位控制策略的实际效果。

3.2 定位控制策略

预测出停止位置后, 可以推算出转动中的雷达天线的起停方位角。根据起停方位角的不同, 分区域制定出以下 3 种控制策略。

策略 a: 如图 2b) 所示, 如果雷达天线顺时针旋转, 在方位转动角度 α 至 β_1 的区域内接收到定位指令及定位角度, 则可选择 β_1 为起停方位角, 即收到定位指令后雷达天线继续以原转速转动, 转至 β_1 后执行停的指令, 这样预测的雷达天线 0 r/min 方位角落入 $\alpha-\sigma_2$ ~ α 区域, 雷达天线方位角一旦越过 $\alpha-\sigma_2$ 即切入位置回路闭环控制。由于雷达天线 0 r/min 方位角接近定位角度 α , 因此能很快实现定位。

策略 b: 如果雷达天线顺时针旋转, 在方位转动角度 β_1 至 β_2 的区域内接收到定位指令及定位角度, 则立即执行停转指令, 这样预测的雷达天线 0 r/min 方位角落入 $\alpha-\sigma_2$ ~ $\alpha+\sigma_1$ 区域, 雷达天线方位角一旦越过 $\alpha-\sigma_2$ 即切入位置回路闭环控制。这种情况下如果预测的雷达天线 0 r/min 方位角落入 $\alpha-\sigma_2$ ~ α 区域, 则能很快实现定位; 如果预测的雷达天线 0 r/min 角落入 α ~ $\alpha+\sigma_1$ 区域, 则需要反转的控制, 由于反转区域不大, 也能较快地实现定位。

策略 c: 如果雷达天线顺时针旋转, 在方位转动角度 β_2 至 α 的区域内接收到定位指令及定位角度, 则控制雷达天线以略高于原转速的速度转动, 转至 β_1 时执行停指令, 雷达天线方位角一旦越过 $\alpha-\sigma_2$ 即切入位置回路闭环控制。这种情况所耗费的定位时间最长, 需要多转动的最大角度为 360°~($\beta_2-\beta_1$)。

3.3 变增益控制

为获得较好的控制性能, 当对雷达天线实施位置闭环控制(PI 或 P 调节)时, 可根据其距离定位角度的远近, 进行变增益控制。天线方位角距定位角较远时进行大增益控制, 使雷达天线快速逼近定位角; 逼近定位角时转为小增益控制, 以期减小定位超调, 实现快速定位。

4 控制策略比较

对于分区域定位控制策略中的策略 a, 由于雷达天线 0 r/min 方位角接近定位角, 且可适时切入位置闭环控制, 该控制方法明显优于常规控制法。采用策略 a 及常规控制法时天线定位时间比较, 见表 1。

表 1 策略 a 与常规控制法定位时间比较

	角度/(°)			
	α	$\alpha+45^\circ$	$\alpha+90^\circ$	β_1
常规法/s	22.0	19.5	16.0	13.4
策略 a/s	16.6	15.4	14.2	13.4

对于分区域定位控制策略中的策略 b, 由于控制系统接收到定位指令即进入位置闭环控制, 该控制方法等同于常规控制法, 见表 2。

表 2 策略 b 与常规控制法定位时间比较

	角度/(°)			
	β_1	β_1+25°	β_2-25°	β_2
常规法/s	13.4	11.5	13.3	16.7
策略 b/s	13.4	11.5	13.3	16.7

分区域定位控制策略中的策略 c 实为多转动策略, 如何判定其与常规控制法的优劣, 取决于 2 个重要因素:(1) 雷达天线转速有提升的空间, 接收到定位指令后雷达天线可以以略高于原转速的速度转动;(2) 区域的合理划分。图 2b 中角度 β_2 是确定是否执行多转动控制的分水岭, 如果分别在略小于 β_2 和略大于 β_2 的位置接收到定位指令并执行不同的控制所消耗的定位时间相近, 则 β_2 的设置最为合理。在定位时间上, 如果雷达天线 0 r/min 的预测方位角略大于 $\alpha+\sigma_1$, 多转动策略略劣于常规控制法; 如果雷达天线 0 r/min 的预测方位角较大于 $\alpha+\sigma_1$ 或接近 $\alpha+180^\circ$, 多转动策略则明显地优于常规控制法。因此这种多转动控制策略适用于对任意位置的最大定位时间指标有要求的场合。假设雷达天线转速有 5% 的提速空间, 策略 c 与常规控制法定位时间比较, 见表 3。

表 3 策略 c 与常规控制法定位时间比较

	角度/(°)			
	β_2	β_2+45°	β_2+90°	$\alpha-20^\circ$
常规法/s	16.7	20.2	23.7	25.2
策略 c/s	20.6	18.5	17.4	16.5

表 1 ~ 表 3 以 3.1 节所列参数值为依据的理论值, 角度行表示接收到定位指令时的雷达天线位置角, 其中 $\beta_1=360^\circ-\theta-45^\circ+\alpha$, $\beta_2=360^\circ-\theta+45^\circ+\alpha$ 。

5 位置环校正的实现方法

5.1 硬件电路

目前伺服驱动器的种类繁多, 可以根据需要把伺服驱动器作为速度内环, 利用 CAN、PROFIBUS 等总线方式完成位置环校正和伺服驱动器间的信号传递。

实现位置环校正可采用 PLC、单片机等多种形式。随着单片机技术的发展, 将单片机运用于各类复杂控制的模式被广泛采用, 而 CAN 总线也因其具有低成本、高总线利用率、高数据传输率、较远的传输距离及可靠的错误处理和检错机制等优势被普遍应用^[3]。图 3 为基于单片机及 CAN 总线控制的位置环校正功能实现电路框图。

位置环校正单片机通过 CAN 获取定位角度及雷达天线的实际方位角度后, 按照 3.2 所述的定位控制

策略完成对伺服驱动器的控制。伺服驱动器接收位置环校正单片机输出的速度指令。

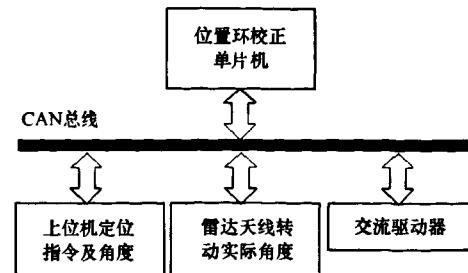


图 3 位置环校正电路框图

5.2 控制流程及算法

控制流程如图 4 所示, 单片机是控制的核心, 位置环校正的策略完全由单片机实现。图中输出速度给定为伺服驱动器的输入信号, PI 或 P 调节后也生成一个闭环的速度给定作为伺服驱动器的输入^[4]。这是一种开环和闭环相结合的控制模式, 由于这种控制模式最终切入闭环, 因此定位精度可以得到保证。

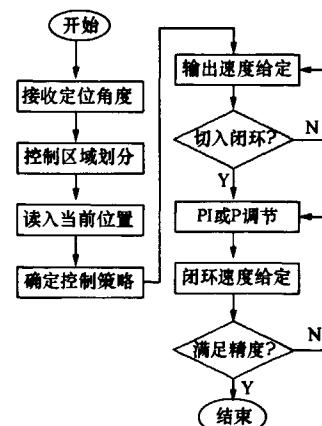


图 4 控制流程图

在控制算法上可以通过坐标旋转, 将目标定位角 α 转至新坐标系中的 0°位置, 如图 5 所示, 新坐标系中的最佳起停方位角为 $\gamma=360^\circ-\theta$, θ 由式(5)得出。

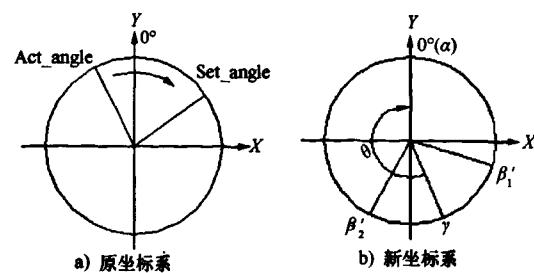


图 5 方位坐标转换图

6 结束语

实践证明采用方位分区域定位控制策略对大惯量地面雷达天线实施定位控制, 在提高全程最大定位时
(下转第 64 页)

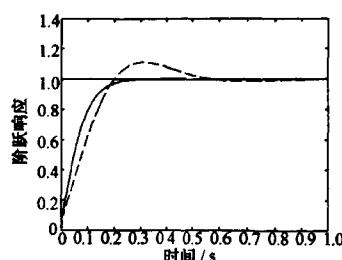


图 9 K_d 基本论域为 $[-0.6, 0.6]$ 时模糊控制器与普通 PID 控制器的阶跃响应

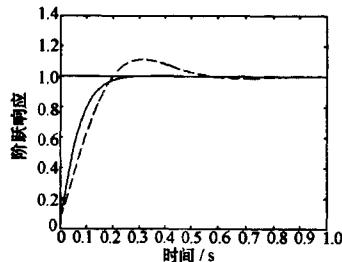


图 10 K_d 基本论域为 $[-12, 12]$ 时模糊控制器与普通 PID 控制器的阶跃响应

由图 5~图 10 可以看出输出参数 K_p, K_d 的基本论域的选择不是很灵敏,而 K_i 的选择是很重要的,选择基本论域范围太小,那么系统的性能不能调节到最优,如果基本论域的范围太大,那么系统就会出现震荡,所以,选择合适的基本论域对系统性能的调节有重要作用,而如何选择合适的论域主要还是根据系统的特性靠以往积累的经验。而在实际的伺服系统中,很少使用 K_i 策略。那么,模糊 PID 参数自整定方法在伺服系统中就因齿隙、摩擦等非线性环节可以明显改善控制的动态性能,有更强的鲁棒性。

4 结束语

本文研究了一种模糊 PID 参数的自整定方法,通

(上接第 60 页)

间这一指标上是有效的,作为对常规控制法的一种补充策略有其应用价值;以伺服驱动器为速度内环,通过单片机实现位置环校正的控制模式也是一种可以快速搭建的定位控制系统,具有一定的通用性。但如何确定雷达天线的提速空间、如何更加合理地划分控制区域、如何弥补方位分区定位控制策略的不足,还有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 熊纬,陆利民. 机动重载天线平台调平精度的分析与实现 [J]. 现代雷达, 2009, 31(8):69~72.
Xiong Wei, Lu Limin. Leveling precision analysis realization of heavy-loaded antenna platform on mobile radar [J]. Modern Radar, 2009, 31(8):69~72.
- [2] 敖荣庆,袁坤. 伺服系统 [M]. 北京:航天工业出版社, 2006.

过用模糊推理的方法动态调整 PID 参数,仿真结果表明这种方法在伺服系统中就因齿隙、摩擦等非线性环节因素,可以明显改善控制的动态性能,有更强的鲁棒性,并且能够满足伺服系统快速响应及高精度的要求。

参 考 文 献

- [1] 潘立登. 先进控制与在线优化技术及其应用 [M]. 北京:机械工业出版社, 2009.
Pan Lideng. Application of advance control and online optimization technology [M]. Beijing: Publishing House of machine Industry, 2009.
- [2] 曾光奇,胡军安,王东,等. 模糊控制理论与工程应用 [M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2006.
Zeng guangqi, Hu junan, Wang dong, et al. Theory and application of fuzzy control [M]. Wuhan: Publishing House of Huazhong University, 2006.
- [3] 李忱,张柏林. 基于 FUZZY-PID 控制的雷达伺服系统仿真研究 [J]. 现代雷达, 1998, 211(6):82~86.
Li Chen, Zhang Bolin. Simulation study of radar servo system based on fuzzy-PID control [J]. Modern Radar, 1998, 211(6): 82~86.
- [4] Tasi C H, Hung Y C, Fang M Y. Neuro sliding mode control with its applications to seesaw systems [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2004, 15(1):124~134.

赵爽女,1981 年生,硕士,工程师。研究方向为精密雷达伺服系统中控制方法的研究与应用,伺服系统设计与仿真,伺服系统软件设计等。

邓先荣男,1968 年生,研究员。研究方向为雷达伺服系统的设计。

AO Rongqing, Yuan Kun. Servo system [M]. Beijing: Publishing House of Avigation Industry, 2006.

- [3] 杜尚丰. CAN 总线测控技术及其应用 [M]. 北京:电子工业出版社, 2001.
DU Shangfeng. CAN BUS for control measurement technology and application [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2001.
- [4] Silicon 电子公司. 混合信号 ISP FLASH 微控制器数据手册 [Z]. 深圳:Silicon 电子公司, 2004.
Silicon Laboratories In., Mixed signal Isp fash mcu family [Z]. Shenzhen: Silicon Laboratories In., 2004.

施勤女,1966 年生,高级工程师。研究方向为地面情报雷达伺服系统的设计。

万霞女,1968 年生,工程师。研究方向为伺服系统集成控制技术。

熊纬男,1962 年生,高级工程师。研究方向为地面情报雷达伺服系统的设计。

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，一直致力于专注于微波、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>