文章编号:1005 —7277(2002) 01 —0007 —03

一种非线性传动机构的模糊补偿

马礼胜, 张振超, 徐欣圻

(中国科学院国家天文台 南京天文光学技术研究所, 江苏 南京 210042)

摘要: 在地平式望远镜机架的一种俯仰跟踪控制传动链中, 其俯仰角度与电机转动角度之间存在非线性关系,用经典 PID 控制方法很难使系统获得很好的动静态性能。将模糊控制和经典 PID 控制相结合,根据参考模型和实际模型的误差动态调整控制器参数,可实现传动链的非线性补偿。

关键词: 非线性; 模糊补偿; PI 控制器

中图分类号: TP273+.4 **文献标识码**: A

Fuzzy compensation of a nonlinear driving chain

MA Li-sheng, ZHANG Zhen-chao, XU Xin-qi

(*Nanjing Institute of Astronomical Optics & Technology, National Astronomical Observatories of Chinese Academy of Sciences, Nanjing* 210042, *China*)

Abstract: Owing to the great nonlinearity and time-variation in a kind of telescope control system, good performance of controller can not be gained in traditional way. A controller combining traditional PID control method with fuzzy control method is presented. The parameters of the controller are modified according to the deviation between the reference model and the realistic one. The nonlinearity of driving chain can be compensated.

Key words: nonlinearity; fuzzy compensation; PI controller

1 引言

地平式天文望远镜是当前主流望远镜之一,有复杂的跟踪控制系统。其中包括水平方位跟踪和高度俯仰跟踪,从而实现对锁定天体的连续观测。高度俯仰调节的一种常见实现机构是一个包括电机、连杆机构和丝杆等组成的系统。如图 1 所示,连杆 I 段的一端 A 铰链在高度轴上,可以绕 A 点旋转;连杆 II 段一端和 I 段在 B 点铰链, 一端铰链在滑动螺母 C 上;螺母 C 在电机的推动下,可以在 X 方向的丝杆上做直线运动;通过连杆机构将这种直线运动变换为望远镜的俯仰运动。电机转角和丝杆在 x 轴向位置 X 保持线性关系,而俯仰角度 θ 和丝杆上螺母 C 的位置 X 关系不是线性关系。转角 θ 与螺母 C 的位置 X 的关系式为:

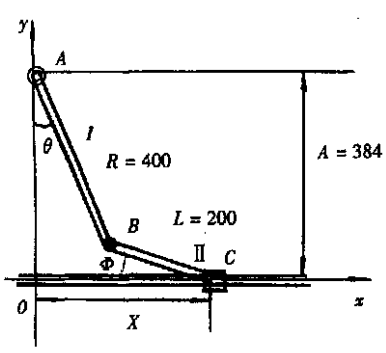


图 1 传动链示意图

$$X = R\sin\theta + \sqrt{L^2 - (A - R\cos\theta)^2} \tag{1}$$

速度(传动比):

$$\frac{dx}{d\theta} = R\cos\theta - \frac{R(A - R\cos\theta)\sin\theta}{\sqrt{L^2 - (A - R\cos\theta)^2}} \tag{2}$$

由公式 (1)、(2) 看出,关于俯仰角度和电机转角之间的传动比具有非线性特性。经典 PID 控制具有思路简单清晰,可在控制系统广泛应用的优势。但对于这种传动链中存在非线性的情况, 要用 PID 方法实现高精度控制就需要经历精心校正的繁琐过程,而且控制系统的动静态性能不好。根据人脑认知理论发展起来的模糊理论广泛应用于控制领域中。基于模糊知识表达和规则推理的模糊控制器是一种非线性控制器,设计时无需建立精确的数学模型,特别适用于强非线性系统。但是简单的模糊控制器不存在积分环节,因此有稳态误差,并且常常在平衡点附近还会有微小的振荡现象。如果能将 PID 控制和模糊控制技术相结合, 克服各自不足,而发挥各自优势, 将可能获得更好的控制系统性能。基于这一思想,本文采用 PID 控制器为控制器

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的基本结构,根据模糊控制器的输出调整 PID 控制器参数,使系统既稳定又能适应参数变化。

2 模糊补偿传动链的非线性

2.1 模糊补偿控制

系统的基本结构由转速环和位置环组成。转速环采用经典的 PID 控制器。由于传动链有非线性,因此采用模糊控制器实时调整位置环的 PI 控制器参数,实现位置闭环。传动链的传动比在 350～410 之间变化,取传动比为 380 的系统模型为参考模型。根据参考模型输出 Y_f 和实际角位移输出 Y 的误差 e 和误差变化率的绝对值 $|de/dt|$,修正系统位置环 PI 调节器参数 K_P 和 K_I,这样系统模型的动态变化可以通过模糊控制得到动态补偿,系统结构框图如图 2 所示。

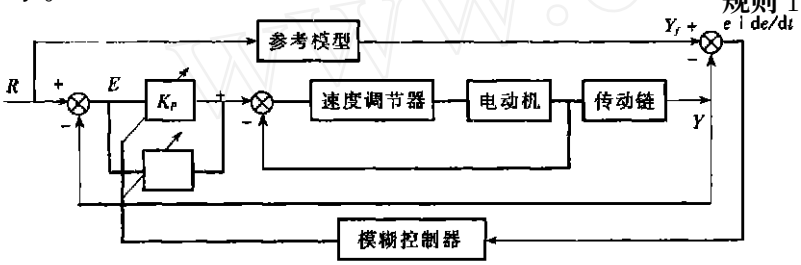


图 2 系统结构框图

2.1.1 论域正规化

输入变量论域的正规化和一般模糊控制器的正规化没有差别,而输出变量的正规化则有其特殊之处,输出变量 K_P 和 K_I 的论域则应满足系统传动比从 410 到 380 变化的情况下系统稳定性要求。

2.1.2 定义模糊集和各模糊集隶属函数

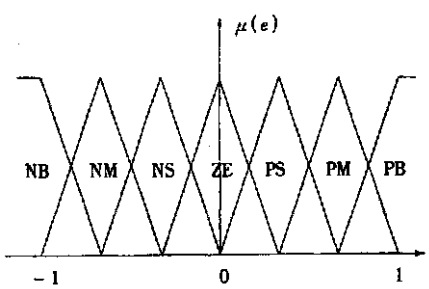


图 3 模糊变量 e 的隶属函数

误差 e 定义 7 个模糊集合 NB、NM、NS、ZE、PS、PM、PB。模糊集的个数选为 7 个,个数少,灵敏度不够;个数多,控制规则多,算法复杂。输入隶属函数可采用三角形或正态分布形,但三角形时可使算法简单,满足实时控制的要求,因此模糊变量 e 的隶属函数采用对称均匀分布的全交迭三角形。

误差变化率的绝对值 $|de/dt|$ 或 $|ec|$ 定义 4 个模糊集合 ZE、PS、PM、PB。该语言变量与一般的语言变量不同是其模糊集合的个数为 4 个且单边不对称。输出模糊变量的隶属函数采用单点数字型,定义传动比为 410、400、390、380、370、360、350 时系统最优的 K_P、K_I 为 PB、PM、PS、ZE、NS、NM、NB。隶属函数如图 4 所示。

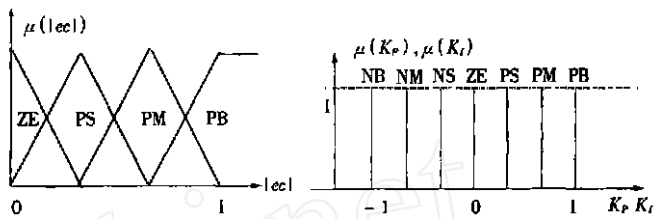


图 4 偏差变化率语言变量和输出语言变量的隶属函数

2.1.3 模糊控制规则

规则 1:如果正误差很大,那么传动比接近 410(输出正大);

规则 2:如果正误差中等,且误差变化很大,那么传动比接近 410(输出正大);

规则 3:如果正误差中等,且误差变化中等,那么传动比接近 400(输出正中);

规则 4:如果正误差中等,且误差变化很小,那么传动比接近 390(输出正小);

规则 5:如果正误差很小,且误差变化中等,那么传动比接近 400(输出正中);

规则 6:如果正误差很小,且误差变化很小,那么传动比接近 390(输出正小);

规则 7:如果正误差很小,且误差变化接近零,那么传动比接近 380(输出正零);

规则 8:如果误差接近零,且误差变化中等,那么传动比接近 380(输出正零);

规则 9:如果误差接近零,且误差变化很小,那么传动比接近 380(输出正零);

规则 10:如果误差接近零,且误差变化接近零,那么传动比接近 380(输出正零);

规则 11:如果负误差很小,且误差变化接近零,那么传动比接近 380(输出正零);

规则 12:如果负误差很小,且误差变化很小,那么传动比接近 370(输出负小);

规则 13:如果负误差很小,且误差变化中等,那么传动比接近 360(输出负中);

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

规则 14: 如果负误差中等, 且误差变化很小, 那么传动比接近 370(输出负小);

规则 15: 如果负误差中等, 且误差变化中等, 那么传动比接近 360(输出负中);

规则 16: 如果负误差中等, 且误差变化很大, 那么传动比接近 350(输出负大);

规则 17: 如果负误差很大, 那么传动比接近 350(输出负大)。

模糊规则控制表如表 1 所示。

表 1　模糊规则控制表

EC \ E	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
ZE	NB		ZE	ZE	ZE		PB
PS	NB	NS	NS	ZE	PS	PS	PB
PM	NB	NM	NM	ZE	PM	PM	PB
PB	NB	NB				PB	PB

2.1.4　模糊推理和判决

模糊控制器的每条规则的激活度通过合成推理得到:

$$\mu_i(e, |ec|) = \mu_{ei}(e) \times \mu_{eci}(ec)$$

输出控制量由加权平均判决得到:

$$K_P = \left\{ \sum_{i=1}^{17} \mu_i(e \cdot |ec| \times K_{Pj} \right\} / \sum_{i=1}^{17} \mu_i(e \cdot |ec|)$$

$$K_I = \left\{ \sum_{i=1}^{17} \mu_i(e \cdot |ec| \times K_{Ij} \right\} / \sum_{i=1}^{17} \mu_i(e \cdot |ec|)$$

这里 K_{Pj} 和 K_{Ij} 是系统的传动比为 410、400、390、380、370、360、350 时位置环调节器的参数对应每条规则的取值。因此位置环的增量式差分方程为:

$$y(n) = K_p(n)[E(n) - E(n-1)] + K_I(n)E(n)$$

K_P、K_I 根据模糊控制器的输出实时进行调整。

3　实验结果

本系统采用上述的控制算法,进行了实验并获得良好的动静态性能。

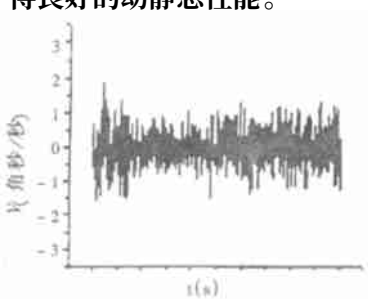
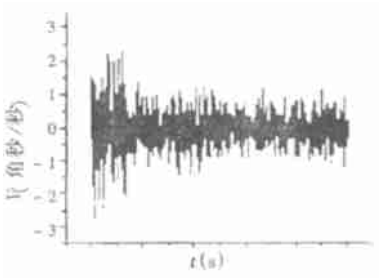


图 5　斜坡响应位置误差曲线

如图 5 所示为斜坡响应 $V = 30$ (角秒/秒) 的位置误差曲线, 位置误差在正负 2 角秒之内; 如图 6 所示为正弦跟踪响应 $V = 100 \sin(\pi t/60)$ (角秒/秒) 的位置误差曲线, 位置误差在正负 3 角秒之内。



4　结论

本文针对系统传动链的非线性提出的模糊补偿方案,能对系统的非线性和时变特性进行很好的补偿。当系统的模型和参数发生变化时, 控制器自动调节 PI 控制器参数, 使控制器适应系统的参数变化, 具有很强的鲁棒性。实验证明该方法对于该类地平式望远镜具有应用价值,所提出的控制方案对于类似的传动机构具有借鉴意义和推广价值。

本文中的模糊控制器由于是"支持型"的间接模糊控制器,是模糊控制和 PI 控制的结合,模糊控制器的输出在 PI 控制器决定的稳定性范围内, 因此系统是稳定可靠的。

参考文献:

[1]胡企千等. 可用于地平式望远镜高度驱动的双丝杠系统[J]. 天文仪器与技术, 1995.

[2]罗安, 路甬祥. 专家 PID 控制器及其应用[J]. 信息与控制, 1992, (6).

[3]窦振中. 模糊逻辑控制技术及其应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995.

作者简介:

马礼胜 (1976 -), 1998 年毕业于中国矿业大学信息与电气工程学院, 1998 年 7 月开始参加国家"九五"重大科学工程项目"大天区面积多目标光纤光谱望远镜"(LAMOST) 工作, 现为天体物理专业再读研究生。研究方向为大型天文望远镜的拼接镜面面形控制技术。

张振超 (1954 -), 研究员、硕士生导师。1980 年毕业于中国科学技术大学。曾参加日食光谱仪、国际合作项目 PSPO 分光仪、国家自然科学基金"八五"重点项目"望远镜主动光学技术的预研"等项目的研究和研制工作。作为访问学者由中科院公派至日本国立天文台进行合作研究。现参加国家"九五"重大科学工程"大天区面积多目标光纤光谱望远镜"项目, 负责主动光学电控系统的研制。曾获中科院重大科技成果一等奖、中科院科技进步一等奖、国家科技进步二等奖、中科院科技进步二等奖。

收稿日期: 2001 - 06 - 22

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net