

研究简报

大射电望远镜轨迹跟踪模糊学习控制¹⁾

苏玉鑫¹ 段宝岩¹ 彭勃² 南仁东²

¹(西安电子科技大学机电工程学院 西安 710071)

²(中国科学院国家天文观台 北京 100012)

(E-mail: yxsu@mail.xidian.edu.cn)

关键词 大射电望远镜, 轨迹跟踪, 模糊控制, 学习控制

中图分类号 TP273

FUZZY MODEL REFERENCE LEARNING FOR TRACKING CONTROL OF LARGE RADIO TELESCOPE

SU Yu-Xin¹ DUAN Bao-Yan¹ PENG Bo² NAN Ren-Dong²

¹(School of Electro-Mechanical Engineering, Xidian University, Xi'an 710071)

²(National Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012)

(E-mail: yxsu@mail.xidian.edu.cn)

Key words Large radio telescope, trajectory tracking, fuzzy logic control, learning control

1 引言

“新一代大射电望远镜光机电一体化设计”^[1~4]创新设计方案中,大跨度悬索拖动装有 Stewart 平台的馈源舱提供较大的工作空间,并实现馈源轨迹的粗调控制,Stewart 精调平台在粗调的基础上实现馈源轨迹跟踪的精调控制,满足馈源轨迹跟踪精度要求。

馈源轨迹跟踪控制过程中,馈源舱子系统与 Stewart 精调平台子系统之间存在着动力学耦合,由动力学耦合所引起的馈源舱振动对馈源轨迹跟踪精度仍会有较大的影响.因此,如何实现馈源轨迹高精度轨迹跟踪控制一直是人们关注的主要问题之一^[4]。

本文将馈源轨迹跟踪过程中的动力学耦合视为对轨迹精调的一种外扰,设计了强鲁棒性的模糊学习控制器来抑制该扰动的影响,从而达到高精度轨迹跟踪目的。

2 大射电望远镜轨迹跟踪控制策略

采用独立控制策略实现馈源轨迹跟踪控制,如图 1 所示。

1) 国家自然科学基金(50075065)、陕西省自然科学基金与中科院国家天文观测中心大射电望远镜实验经费资助

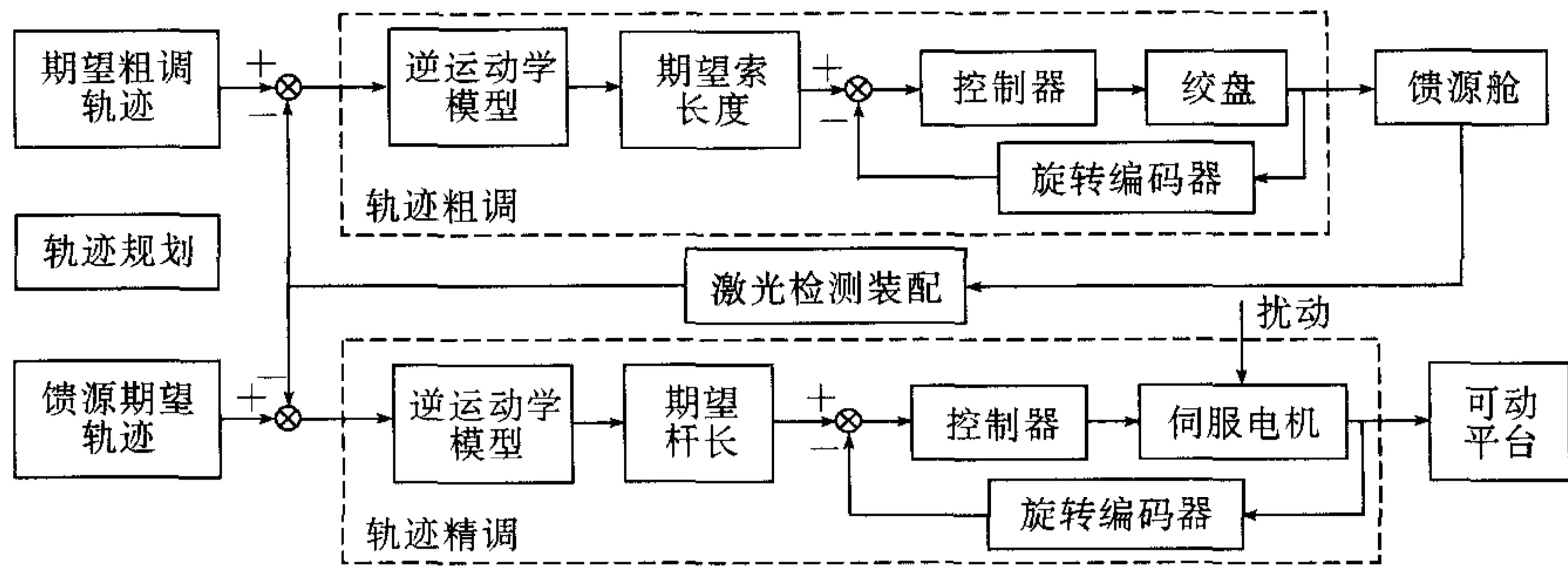


图 1 大射电望远镜轨迹跟踪控制方案

3 模糊模型参考学习控制器

模糊学习控制器由模糊控制器、参考模型和模糊学习器三部分组成,如图 2 所示^[5]。

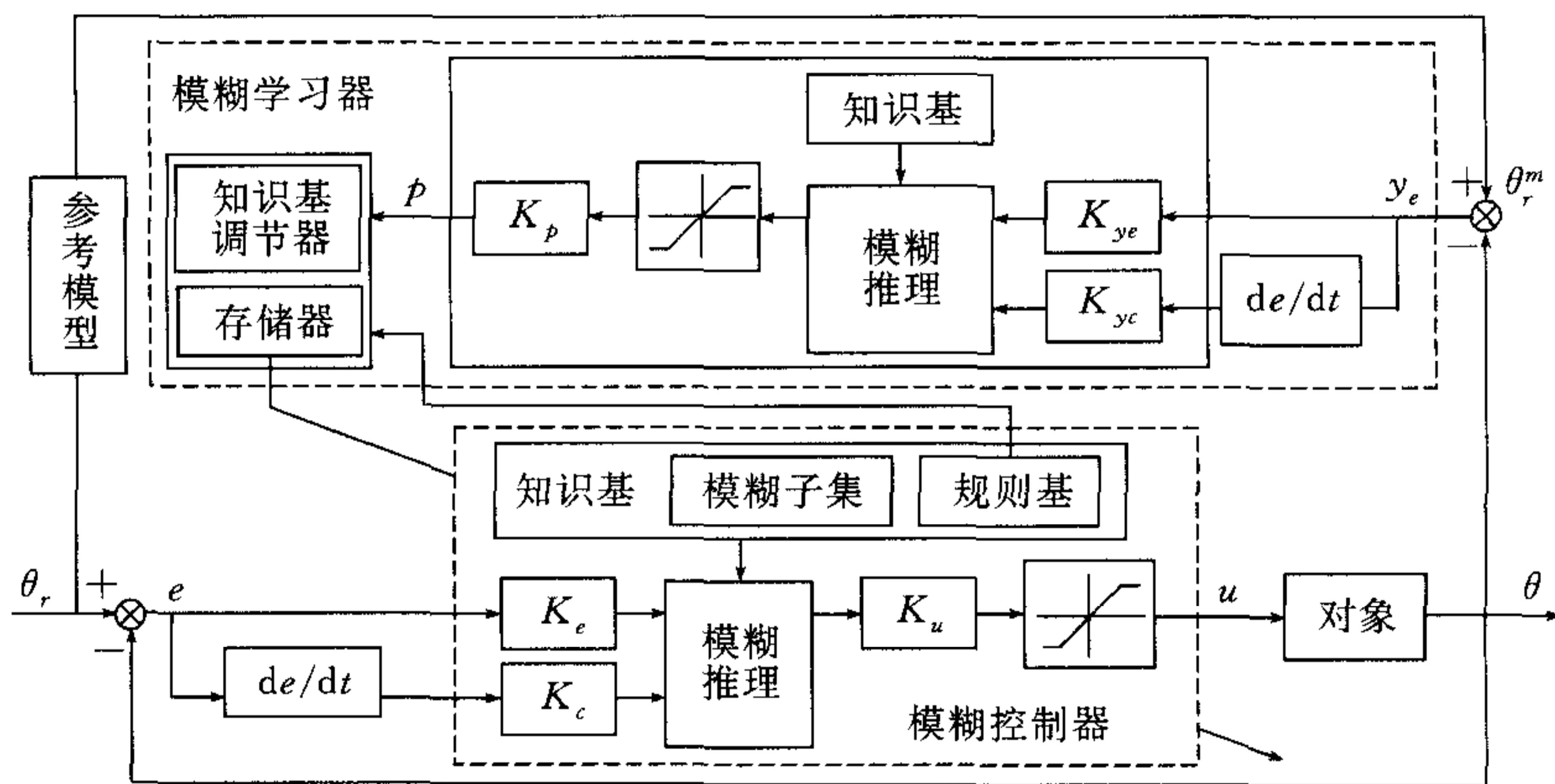


图 2 模糊模型参与学习控制器

3.1 简单模糊控制器

模糊参考学习控制的对象为精调平台的变位执行机构^[3],其传递函数可表示为

$$G(s) = \frac{K}{(1 + T_i s)(1 + T_m s)} \tag{1}$$

其中, T_i 与 T_m 分别为 $T_i = 0.25 \text{ s}$, $T_m = 0.005 \text{ s}$; K 为系统的增益, $K = 0.54$ 。

归一化的变位执行机构的转角及其误差变化作为模糊控制器的输入,其定义如下:

$$e(KT) = K_e(\theta_r - \theta_r^*(KT)), \quad c(KT) = K_c \frac{e(KT) - e(KT - T)}{T} \tag{2}$$

其中, θ_r 与 θ_r^* 分别为变位执行机构的转角和期望转角, K_e 和 K_c 为量化因子, KT 为第 K 次采样瞬时. 11 个底边长为 0.4 的三角形模糊子集 E^j 与 C^k 均匀分布在归一化的基本论域上. 伺服电机的控制电压 u 作为模糊控制器的输出, 模糊子集与输入的相同。

模糊控制器的规则基如表 1 所示. 选择 Zadeh 模糊推理合成方法和重心法来实现模糊推理和精确化输出^[5]。

表 1 轨迹精调模糊控制器的知识基

$u_i^{j,k}$	C^k										
	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
-5	1	1	1	1	1	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0
-4	1	1	1	1	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0	0.2
-3	1	1	1	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0	-0.2	-0.4
-2	1	1	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0	-0.2	-0.4	-0.6
-1	1	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8
E^j 0	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1
1	0.8	0.6	0.4	0.2	0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1	-1
2	0.6	0.4	0.2	-0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1	-1	-1
3	0.4	0.2	0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1	-1	-1	-1
4	0.2	0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1	-1	-1	-1	-1
5	0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1	-1	-1	-1	-1	-1

3.2 参考模型

参考模型应能评价期望的系统性能指标,选择如下:

$$G_r(s) = \frac{K_r}{1 + T_r s} \quad (3)$$

其中, $K_r=1, T_r=1/15$.

3.3 模糊学习器

模糊学习器包括一个模糊逆模型和知识基调节器^[5]. 量化后的模糊逆模型输入为

$$y_e(KT) = K_{ye}(\theta_r^m(KT) - \theta_r(KT)) \quad (4)$$

$$y_c(KT) = K_{yc} \cdot \frac{y_e(KT) - y_e(KT - T)}{T} \quad (5)$$

其中, θ_r^m 为参考模型给定的期望转角. 选择调节模糊控制器的规则基所需的控制作用 $p(KT)$ 作为模糊学习器的输出.

模糊逆模型的隶属函数模糊子集 Y_e^j 与 Y_c^k 、模糊推理和精确化输出均与模糊控制器的相同. 模糊逆模型的知识基取为与控制规则基相同.

整个 FMRLC 输出的最终模糊隶属函数中心值可表示为

$$Center^i(KT) = Center^i(KT - T) + p(KT) \quad (6)$$

其中, 上标 i 表示由模糊逆模型激活的第 i 个隶属函数.

4 数值仿真结果

仿真任务由图 3 示意给出. 馈源舱沿 X 方向的运动轨迹可分别表示为幅值 5, 1, 0.5 cm, 频率为 1, 10, 100 Hz 的三个正弦曲线的叠加, 即

$$B_x(KT) = 5\sin(2\pi KT) + \sin(20\pi KT) + 0.5\sin(200\pi KT) \quad (7)$$

馈源轨迹沿 X 轴方向的跟踪曲线为一条折线

$$\begin{cases} Ref_x(KT) = 50 + KT, & KT \leq 20 \text{ s} \\ Ref_x(KT) = 40 + KT, & KT > 20 \text{ s} \end{cases} \quad (8)$$

采样周期 $T=10$ ms. 多次仿真试验, 模糊学习控制器的参数确定如下:

$$K_{ye} = 1/150, \quad K_{yc} = 1/75, \quad K_p = 110,$$

$$K_e = 1/150, \quad K_c = 1/75, \quad K_u = 110.$$

扰动取为幅值 10 mm 的随机函数. 馈源轨迹跟踪结果分别如图 4, 5 所示.

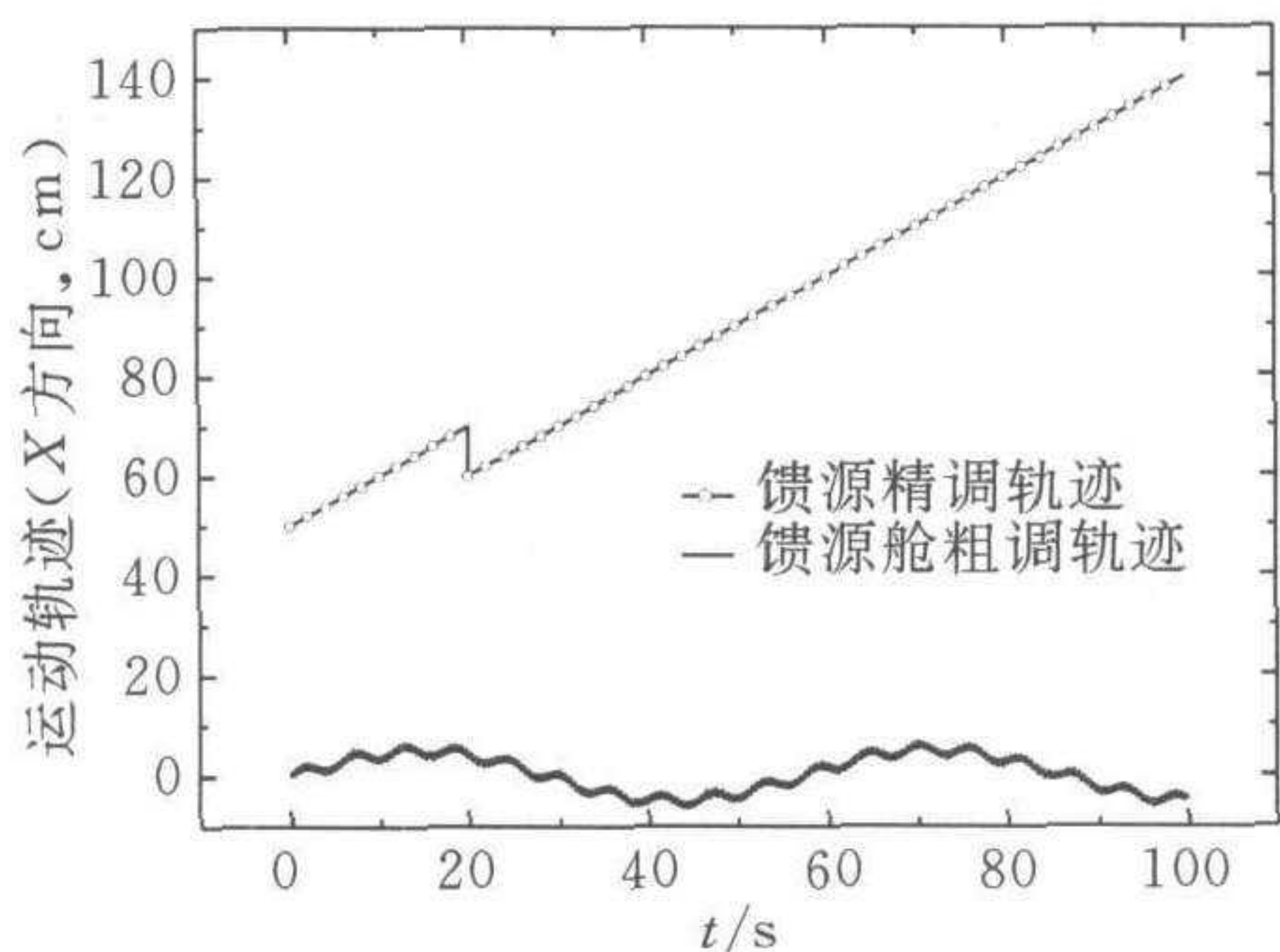


图3 大射电望远镜馈源轨迹跟踪仿真任务

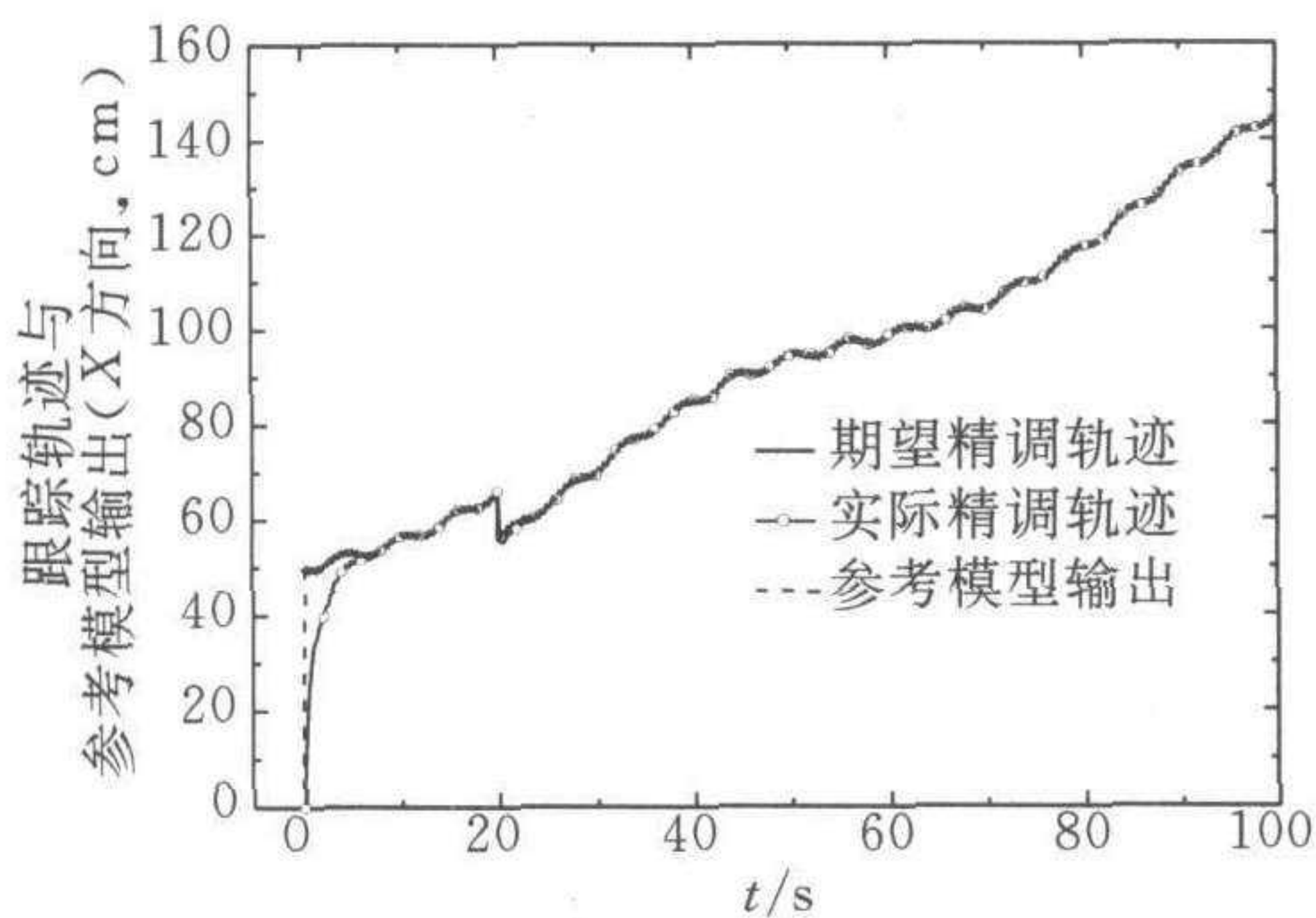
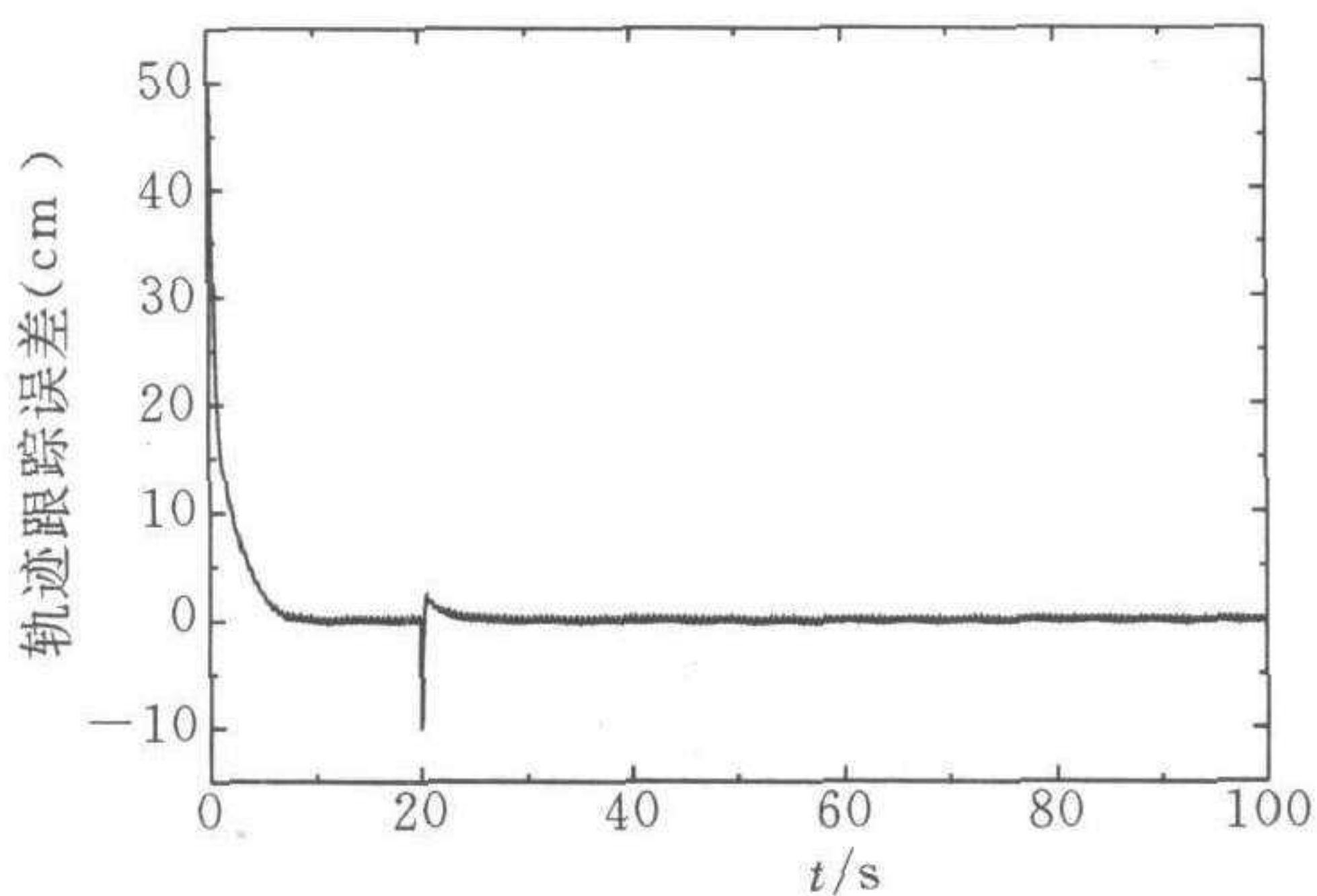
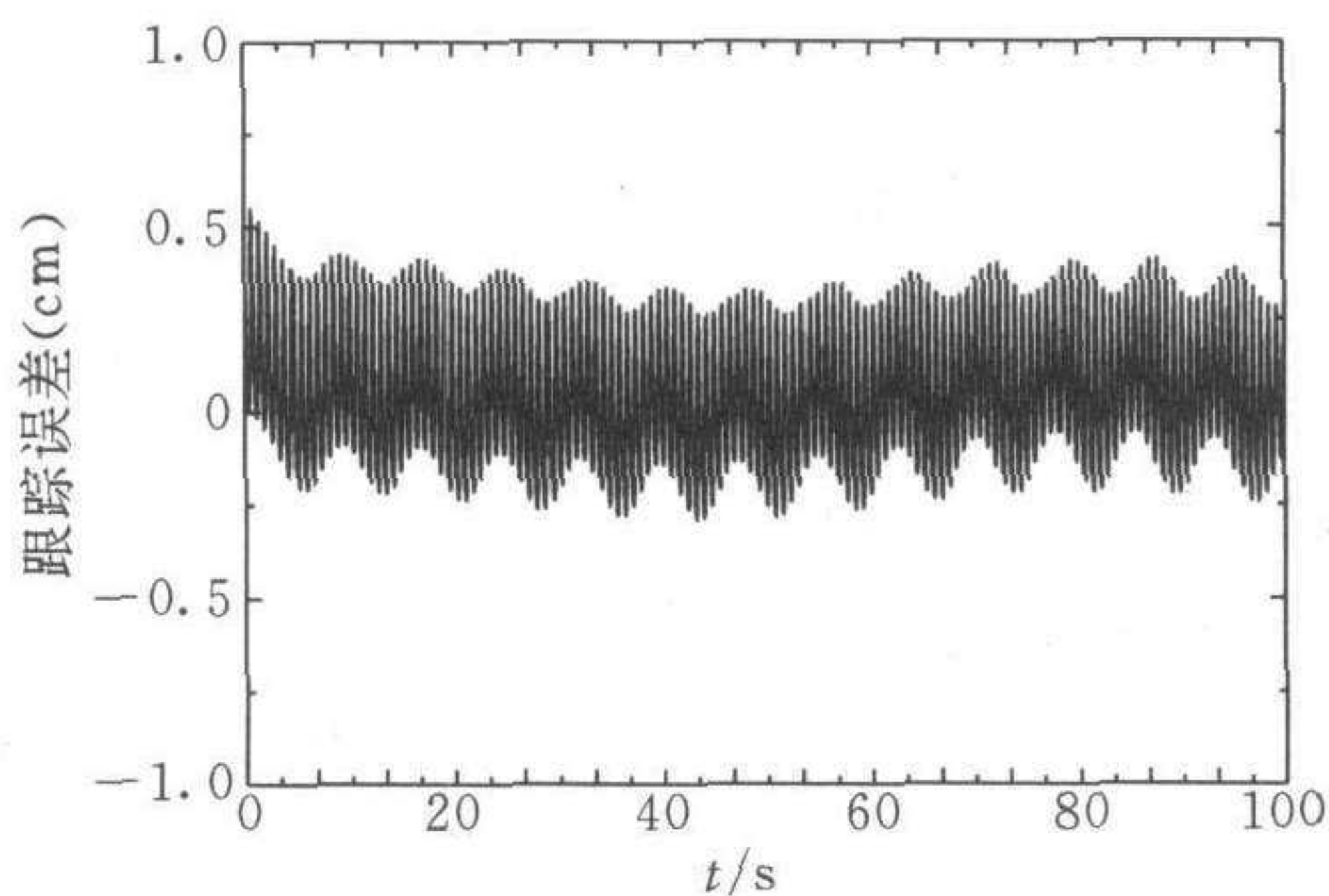


图4 参考模型输出及馈源轨迹跟踪情况



(a) 整体误差图



(b) 局部误差图

图5 馈源轨迹跟踪误差

5 结论

提出了大射电望远镜馈源轨迹跟踪独立控制策略,将组成两个子系统之间的动力学耦合视为一种对馈源轨迹精调的一种扰动.设计了强鲁棒性的馈源轨迹精调模糊模型参考学习控制器.计算机数值仿真,证明了所述控制方案的工程可行性和有效性.

参 考 文 献

- 1 Duan B Y. A new design project of the line feed structure for large spherical radio telescope and its nonlinear dynamic analysis. *Mechatronics*, 1999, **9**(1):53~64
- 2 Su Y X, Duan B Y. The application of the Stewart platform in the next generation large radio telescope. *Journal of Robotic Systems*, 2000, **17**(7):375~383
- 3 Su Y X, Duan B Y. The mechanical design and kinematics accuracy analysis of a fine tuning stable platform for the large spherical radio telescope. *Mechatronics*, 2000, **10**(7):819~834
- 4 邱金波, 段宝岩, 彭 勃, 南仁东. 大型球面射电望远镜控制系统研究. *自动化学报*, 2001, **27**(1):93~97
- 5 Layne J R, Passino K M. Fuzzy model reference learning control. *J. Intelligent and Fuzzy Systems*, 1996, **4**(1):33~47

苏玉鑫 西安电子科技大学副教授, 博士研究生. 研究兴趣为机电控制及自动化、自适应控制与模糊控制.

段宝岩 简介见本刊2001年27卷第1期.

彭 勃 博士, 研究员. 目前主要从事射电天体物理研究.

南仁东 研究员, 博士生导师. 1968年毕业于清华大学无线电系, 1985至1987年为荷兰德云哥勒天文台访问学者, 1990至1991年为日本国立天文台客座研究员, 并先后在加拿大卡里加利大学、美国国立射电天文台、英国曼切斯特、意大利波尼亚射电天文研究所等地作学术交流访问. 现任中国科学院北京天文台研究员, 北京天文学会理事长. 目前主要从事射电天体物理研究.