

空间大型可展开天线主反射镜面背部支撑点优化与控制

刘志勇^{1,2}

(1.咸阳职业技术学院, 陕西 咸阳 712046; 2.西安电子科技大学电子装备结构设计教育部重点实验室, 陕西 西安 710000)

摘要: 本文研究了空间大型可展开天线反射面背部支撑点数量与位置的优化控制问题。首先, 从可展开天线反射面的支撑桁架有限元模型出发, 以反射镜面的最小变形为目标, 运用粒子群算法, 在天线成本最小化的情况下对天线反射镜面的支撑点数量和位置进行了优化, 并在三种不同工况下进行了反射镜面形变精度分析; 为进一步提高镜面精度, 利用哈密顿原理建立天线数学模型, 对该模型设计了Q学习解耦控制器, 用以控制作动器调整面板形状, 最终通过有限元模型仿真验证该支撑点数量与位置方法的准确性及控制方法的可行性。

关键词: 主反射镜面; 背部支撑; 粒子群; 有限元; 强化学习

中图分类号: TN82

文献标识码: A

文章编号: 94047-(2017)04-019-07

0 引言

为了实现对地球长时间连续气象观测, 拟在地球同步轨道上布置高精度的5M可展开天线, 由于其工作环境的特殊性, 对反射面精度有着很高的要求, 并且考虑到发射成本, 对天线的结构重量也有着近乎苛刻的限制。因此, 如何在重量限制的条件下保证天线的精度是一个很有现实意义的工程问题。

由于一种合理的支撑结构可以有效的改善空间天线反射面的面形^[1], 故天线反射镜面的背部支撑点位置优化也是保证反射镜面在空间力学和热环境下良好的稳定性和形面精度的关键技术之一。近年来, 有学者针对不同反射面天线的物理结构, 利用ANSYS软件建立主镜的优化模型, 采用有限元方法, 以镜面的最大变形为目标函数, 对背部支撑点位置进行了优化。文献^[2]以齐次坐标变换方法和最小二乘法为理论依据, 找到了初步满足系统要求的支撑点。文献^[3]利用有限元方法提出了大口径平背形主镜背部支撑位置优化计算方法, 对背部支撑点位置的相关参数进行了优化分析, 得到了满足镜面面型误差要求的最佳背部支撑位置。文献^[4]设计了一种带有柔性环节的反射镜支撑方式, 通过对反射

镜组件力学实验和热真空实验, 验证了该支撑方案的有效性。Gang-Won Jang在文献^[5]中研究了一种基于梯度优化方法来寻找自重下梁板结构的最优支撑点位置。Bojczuk and Mr ó z在文献^[6-8]中以最小化结构成本为目标, 推导了按平均承载力进行弹性设计和塑性设计的最优支承位置条件。

以上方法虽然在天线或者梁的背部支撑点位置优化方面取得了一定效果, 但是这些支撑点方法都是从背部支撑物理结构出发, 将主镜或者梁分成若干个重量相等的小块, 使得支撑点均匀分布, 再利用优化计算方法获得支撑点的最优位置。但是针对本文所研究的5米空间反射面天线, 因其主反射面板结构不规则(如图1所示), 没有对反射面板进行有规则的分割, 加之天线工作环境复杂, 支撑点是由多组位于支撑桁架上的移动作动器组成, 根据天线在轨实时变形情况, 支撑点作动器产生与热变形方向相反的位移, 保证反射面面精度。因此现有背部支撑点优化算法是不适合的。

因此本文从可展开天线面板支撑桁架有限元模型出发, 以反射镜面的最小变形为目标, 运用粒子群算法, 对天线反射镜面的支撑点数量和位置进行优化, 确保了天线在成本最小化下的镜面变形精度。为了进一步提高反射面变形精度, 再次从天线

收稿日期: 2017-11-15

作者简介: 刘志勇(1978—), 男, 陕西淳化人, 咸阳职业技术学院讲师、西安电子科技大学在读博士, 主要研究方向: 控制。

面板结构的有限元模型提取模态信息，建立数学模型，根据天线面板调整量，设计Q学习解耦控制算法进行天线面板面形调整。

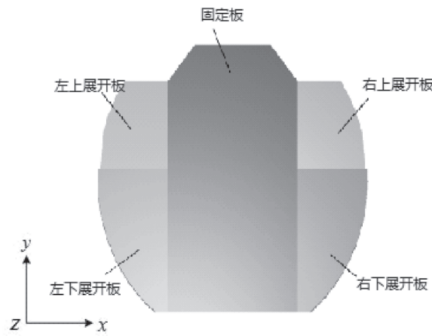


图1 天线主反射面组成

1 天线反射面支撑点优化

1.1 天线反射面背部支撑结构

该5米口径可展开天线面板结构主要分为天线主反射面及支撑桁架。其中天线主反射面组成结构如图1所示，由固定板、左上展开板、左下展开板、右上展开板、右下展开板等5个部分组成。为适应天线展开需要，天线面板支撑桁架结构如图2所示，也是由相应的固定架，左上展开架、左下展开架、右上展开架、右下展开架等5个部分组成，分别安装对应的天线面板。在天线面板桁架上分布了许多主动支撑点（如图3所示），用来支撑天线反射面及调整天线反射面形状。

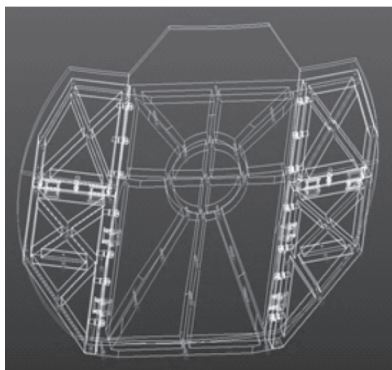


图2 天线面板支撑桁架结构

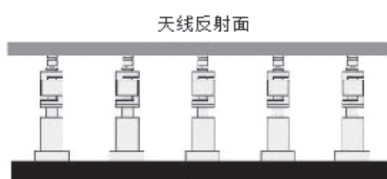


图3 主动支撑点分布

1.2 支撑桁架有限元划分

有限元软件^[9-10]不仅可以建立比较符合实际的工程模型，还可以在模型中加入温度场等外部载荷，获得分析结果。因此本文以天线面板固定板区域的支撑桁架为研究对象，利用有限元分析软件ANSYS对其建立有限元模型（如图4所示），进行网格划分，从背架中间模块的所有有限元节点上向上连接支腿到反射面节点上。由于天线阵面采用了多点位移调节技术，即在支撑桁架上的近5000多个有限元节点中选取最小的群体组合来作为作动器所在的支撑位置，并保证较为精确的形面精度。

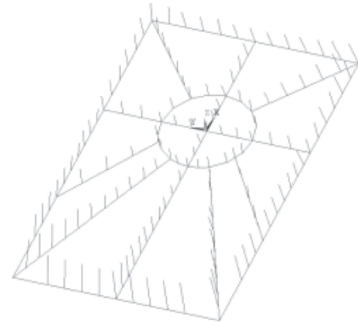


图4 天线桁架有限元模型

1.3 支撑点优化算法设计

粒子群算法^[11-12]是一种群体协作的全局搜索算法，它是从一个初始的随机可行解出发，以每个粒子有自己的移动方向和移动速度，并对自己的最优位置、当前位置以及群体中最优位置有所记忆，由这些行为记忆得到的信息通过加权计算来确定下一时刻的移动方向和速度。由于粒子群有着相互影响及引导的协同合作计算能力，故能使整个群体中的最优粒子快速逼近坐标中的最优位置。5m空间可展开天线背部支撑点优化就是在众多具有耦合作用的支撑点中通过优化找出最优位置，可以利用粒子群算法。如果将桁架上参加优化支撑点集合视为粒子群，那么初始化的随机粒子（随机解）应该是初步确定的支撑点数量，然后通过迭代来找到这些支撑点在桁架上的最优位置。在每一次迭代中，支撑点通过更新两个“极值”来更新自己。一个就是支撑点自己找到的最优解，这个值成为个体极值 $pbest$ ；另外一个极值就是整个支撑点目前找到的最优解，即最小的形面变形值 RMS ，这个值称为全局极值 $gbest$ 。根据粒子群算法思想建立如下优化数学模型：

$$find \quad \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

$$\begin{aligned} & \text{Min} \quad \text{RMS} \\ & S \cdot T \quad \text{RMS} \rightarrow 30\mu\text{m} \end{aligned}$$

其中 $\text{RMS} = \sqrt{\frac{z_1^2 + z_2^2 + z_3^2 + \dots + z_n^2}{n}}$ 为反射镜面变形精度。 $z_1 \dots z_n$ 为 n 个支撑点受外力在垂直方向上的位移量。 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为 n 个压电陶瓷作动器组成所在支撑点的横坐标集合。为了避免陷入局部最优解, 本文采用局部粒子算法进行搜索, 虽然收敛速度慢, 但是很难陷入局部最优。

下面给出算法的参数及经验设置:

粒子数 (支撑点数): 本论文粒子数 (支撑点) 取20~100。

粒子的长度: 问题解得长度, 本论文中即确定支撑点个数。粒子长度=94。

粒子的范围: 粒子在平面中横、纵坐标的取值范围。本论文中即支撑点平面坐 (x_i, y_i) 标中 x_i, y_i 范围, 其中, $1979.9 \leq x_i \leq 5945.8$ $-1167.9 \leq y_i \leq 829.96$ 。

最大速度 (V_{\max}): 决定一个粒子 (支撑点) 在循环中的最大移动距离, 通常设为粒子的范围宽度。本论文中 $x_i \in [1979.9, 5945.8]$, 那么 $V_{\max} = 3965.9$ 。

中止条件: 最大循环数 $k_{\max} = 30$, 最小误差要求 $\text{RMS} \rightarrow 30\mu\text{m}$

优化流程图如图5所示:

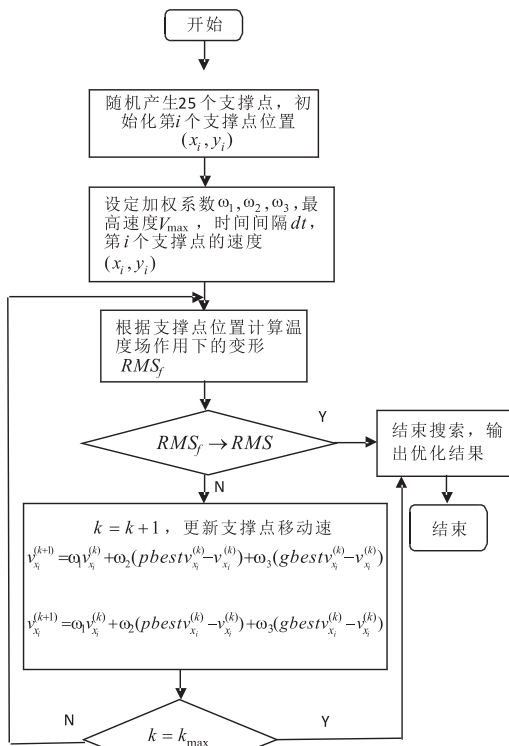


图5 算法流程图

在实际仿真中, 设定加权系数。 $\omega_1 = 0.5$ $\omega_2 = 0.9$ $\omega_3 = 1.5$ 经过30次的迭代优化, 最优种群规模达到了94, 即94个支撑点位置布局如图6所示:

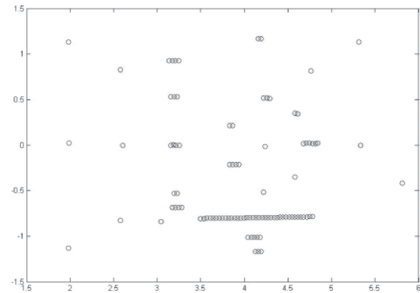


图6 支撑点位置优化布局图

现以三种工况为例, 利用ANSYS分别分析反射镜面的RMS, 分析结果如表1所示。其中, 工况一为热浸透 -180°C , 工况二为热浸透 $+150^\circ\text{C}$, 工况三为 $-95^\circ\text{C} \sim 113^\circ\text{C}$ 。

表1 三种工况下RMS对比

工况	RMS/mm
工况一	0.0372
工况二	0.0346
工况三	0.0350

从表格中可以看出, 根据本文优化方法所确定的支撑点位置, 在对天线反射面板施加三种温度场工况的情况下, 得到的RMS于整个面板基本符合。

但是, 考虑到天线的发射成本及结构重量要求, 在建立天线面板数学模型时, 如果以94个作动器作用点为输入点, 对应天线面板上输出点为观测点采集变形信息是不符合实际情况的。因此, 在图6支撑点中多于2个的区域选择具有代表性的一个节点作为支撑点。为了进一步保证反射面的形面精度满足探测要求, 下面对天线建立数学模型, 利用控制方法进行反射面变形调整。

2 天线反射面调整系统建模

天线反射面在温度场作用下, 发生热变形后的挠度曲面方程为:

$$w(x, y, t) = \sum_{i=1}^n \psi_i(x, y) q_i(t) \quad (1)$$

其中, $\psi_i(x, y)$ 是坐标 (x, y) 处的第阶模态函数, $q_i(t)$ 是 t 时刻第 i 阶模态坐标。天线反射面在

温度场作用下发生变形直至稳定状态,其势能^[13-14]可以表示为:

$$P = \frac{D}{2} \int_{\Omega} \left[\left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right)^2 + 2\mu \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) + 2(1-\mu) \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] d\Omega \quad (2)$$

其中, D 为抗弯刚度, μ 为泊松比, Ω 为反射面板表面区域。

此时天线反射面广义虚功为:

$$W = \sum_{i=1}^m \tau_i w(x_i, y_i) = \sum_{i=1}^m \tau_i \left(\sum_{j=1}^n \Psi_j(x_j, y_j) q_j \right) \quad (3)$$

式中, τ 为输入作用力, 坐标 (x_i, y_i) 是第 i 个作动器所在面板位置。

忽略系统动能, 则势能变化等于外力做功, 得:

对公式(4)应用变分法:

$$\Delta P = -P + W \quad (4)$$

对公式(4)应用变分法:

$$\int_{t_0}^{t_f} \delta \Delta P dt = 0 \quad (5)$$

通过整理可得:

$$Sq = H\tau \quad (6)$$

其中, $q = [q_1, q_2, q_3, \dots, q_n]^T$ 对应1到n作用点的模态位移, $\tau = [\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m]^T$ 为外界m个作动器输入的作用力, s 为 $n \times n$ 维的刚度矩阵, h 为 $n \times m$ 维的输入矩阵, 对应m个输入:

$$B = \begin{bmatrix} \Psi_1(x_1, y_1) & \Psi_1(x_2, y_2) & \dots & \Psi_1(x_m, y_m) \\ \Psi_2(x_1, y_1) & \Psi_2(x_2, y_2) & \dots & \Psi_2(x_m, y_m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Psi_n(x_1, y_1) & \Psi_n(x_2, y_2) & \dots & \Psi_n(x_m, y_m) \end{bmatrix}_{n \times m}$$

从而得到天线反射面的第 i 行, 第 j 列的刚度为:

$$k(i, j) = D \int_{\Omega} \left[\frac{\partial^2 \Psi_i}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 \Psi_j}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi_i}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 \Psi_j}{\partial y^2} + \mu \left(\frac{\partial^2 \Psi_i}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 \Psi_j}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi_i}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 \Psi_j}{\partial x^2} \right) + 2 \right] dx dy \quad (7)$$

设为实际变形量, 可得:

$$X = Cq \quad (8)$$

其中, C 为维的输出矩阵, 对应s个输出,

$$C = \begin{bmatrix} \Psi_1(x_1, y_1) & \Psi_2(x_1, y_1) & \dots & \Psi_n(x_1, y_1) \\ \Psi_1(x_2, y_2) & \Psi_2(x_2, y_2) & \dots & \Psi_n(x_2, y_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Psi_1(x_s, y_s) & \Psi_2(x_s, y_s) & \dots & \Psi_n(x_s, y_s) \end{bmatrix}_{s \times n} \quad (9)$$

联立矩阵方程组(10)和(12), 即可得到此时天线反射面的m个输入s个输出的形变方程:

$$X = CS^{-1}H\tau$$

其中, 将 X 其转化为全局坐标, 则天线反射面第 $k+1$ 次调整后的位移为:

$$X(k+1) = X(k) + B^* \tau(k) \quad (10)$$

其中 $B = CS^{-1}H$, $X(k)$ 是第 k 次面板变形坐标, $\tau(k)$ 是第 k 次调整输入的外力。

为获取反射面的模态坐标和模态函数, 首先要选取模态。运用有限元软件分析得到的一系列模态中, 可以忽略掉对系统变形影响小的模态, 获得简单的天线反射面形变控制方程, 选取天线反射面形变明显的模态作为目标模态计算, 可以得到一阶模态函数 $\Psi_1(x, y)$ 和第 i 阶模态函数 $\Psi_i(x, y)$ 。

3 控制器设计

因为在固定板上分布着多个作动器用来调整天线反射面板, 是典型的多输入多输出系统且调整系统之间存在着高度耦合, 运用LQR控制方法, 由于数学模型与实际模型之间的差异, 控制效果精确度不高。为了实现对天线反射面板的高精度控制, 考虑引入系统状态的非奇异变化矩阵, 消除天线系统中不同通道之间的耦合作用, 再运用强化学习方法改善偏差以增强系统鲁棒性。

3.1 系统解耦

首先, 引入系统状态 $X(k)$ 的非奇异变换矩阵 B 阵, 则有: $Y(k) = B^{-1}X(k)$, 则式(10)可表示为:

$$Y(k+1) = Y(k) + B^* \tau(k) \quad (11)$$

其中, $Y(k) = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$ 是由 n 个作动器系统组成的列向量。

由式(11)可以看到, 离散多变量解耦系统控制模型可以将离散多变量系统的强耦合状态分解为 n 个相互独立的单变量状态方程,

3.2 控制算法设计

下面将以第1个作动器系统为例给出控制算法设计过程。

首先建立一个具有理想调整参数的参考模型如式12所示:

$$Y_1(k+1) = Y_1(k) + \tau_1(k) \quad (12)$$

其中, $\tau_1(k) = k * Y_1(k)$, 它是由比例控制器计算出的控制项。

因此, 拟采用比例控制作为参考模型, 通过调试使得比例参数 k 取值达到最优。考虑到系统数学模型与实际系统之间的偏差, 由参考模型确定的比例系数 k 并不一定适用于实际模型, 因而在系统中考虑加入强化学习思想来改善系统偏差以增强系统鲁棒性。

假设实际测量位移与参考位移 $Y_1(k)$ 之间存在误差 $e_1(k)$ 。则根据实际误差大小, 可以将位移量划分若干个区域 $[e_{11}, e_{12} \dots e_{1i}]$, 而误差 $e_1(k)$ 所在区域可以视为当前状态 $S_1(k)$ 。

确定若干个可选动作 $[\Delta\tau_{11}, \Delta\tau_{12} \dots \Delta\tau_{1i}]$, 依 $\Delta\tau_1$ 据 ϵ -greedy 策略选择动作:

$$\Delta\tau_1 = \begin{cases} \text{rand}(e_1, \Delta\tau_{11-i}), & p \leq \epsilon \\ \max Q_i(e_1, \Delta\tau_{11-i}), & p > \epsilon \end{cases} \quad (13)$$

其中, p 是 $[0,1]$ 内的随机值, ϵ 是选择采取随机动作策略的概率, 它会随着训练步数增加而减少。

$Q_1(s_1, a_1)$ 是 $P \times q$ 的动作状态矩阵, 其初始值为全0。

修正后的输入作用力可表示为:

$$\tau_1'(k) = \tau_1(k) + \Delta\tau_1 \quad (14)$$

得到新的误差值 $e_1(k+1)$, 同时获得即时奖赏值 R_1 :

$$R_1 = \begin{cases} MX, & |e_1(k+1)| \leq \eta \\ MN, & \text{else} \end{cases} \quad (15)$$

其中, $\eta \rightarrow 0$, $MX > 0$, $MN \leq 0$ 。

当调整后的误差值满足精度范围时, 得到一个正向奖赏值, 该动作被强化; 当不满足精度时, 则得到一个负向或零向奖赏值, 该动作被削弱。

根据即时奖赏值更新Q值表:

$$Q_1(e_1(k), \Delta\tau_1) = (1 - \alpha)Q_1(e_1(k), \Delta\tau_1) + \alpha(R_1 + \gamma \max Q_i(e_1(k+1), \Delta\tau_{11-i})) \quad (16)$$

其中, α 是学习率, γ 是折扣率。

不断对每一个作动器系统的数据进行采集和修正以减小热变形, 直到所有作动器系统误差的均方差值RMS足够小:

$$RMS = \sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots + e_n^2}{n}} < \sigma \quad (17)$$

其中, $\sigma \rightarrow 0$ 。

如图7所示为1号Q学习解耦控制器的控制框图。

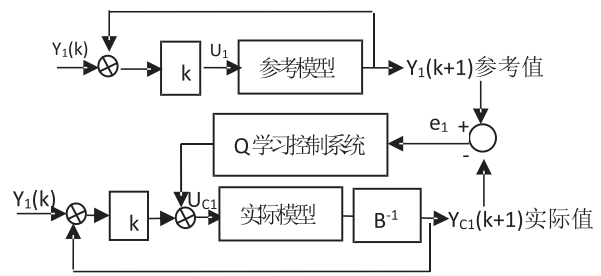


图7 1号Q学习解耦控制系统闭环结构图

其他24个Q学习解耦控制器系统设计与1号Q学习解耦控制器系统设计思路相同。

对实际系统与数学模型存在一定偏差的系统, 借助Q学习用实际位移跟随参考位移对每个作动器的误差进行修正, 不断更新, 直到误差均方差足够小。下面将通过第二部分所确定的25个支腿位置点来调整天线面板数据仿真来验证其控制方法的有效性。

4 数据仿真

如图8所示, 取中间面板的25个作动器作为调整点, 构造一个25输入25输出控制器。由模型计算出的控制矩阵 $B = \begin{bmatrix} B_1 \\ -B_2 \end{bmatrix}$, 其中子矩阵 B_1 、 B_2 、如表1、表2所示。

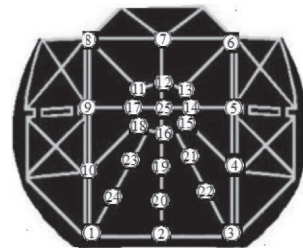


图8 ANSYS受力模型

通过Q学习解耦控制器对其反射面进行调整。取策略选择概率 $\epsilon = 0.1$, 学习率 $\alpha = 0.7$, 折扣率 $\gamma = 0.5$ 。将25个调整系统的状态动作表 $Q_i(s_1, a_1)$ 初始化为全零矩阵, $Y(k)$ 的初始值变形量的值为

$$Y(k) = [-1.141 \quad 12.668 \quad 12.656 \quad -3.987 \quad 4.032 \quad 8.982 \quad 0.676 \quad -3.183 \quad -12.143 \quad -11.927 \quad 0.297 \quad 0.045 \quad 0.465 \quad -9.303 \quad -14.889 \quad 2.119 \quad 2.003 \quad 0.194 \quad 11.079 \quad 0.631 \quad 1.194 \quad 1.094 \quad -9.187 \quad -13.839 \quad -2.257]^T$$

以工况三 ($-95^\circ C \sim 113^\circ C$) 下为初始位移, 计算输入作用力, 对1号利用Q学习解耦控制器进行调整, 调整结果如图9所示:

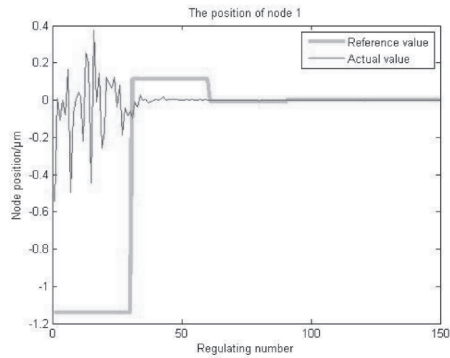


图9 1号作用点实际测量值与理想值误差图

由图9可以看出, 1号作用点经过55次调整后, 实际测量值与理想值之间的误差趋近于零。

整个反射面调整系统的RMS调整曲线如图10所示。

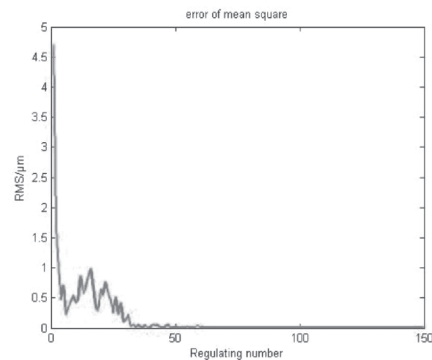


图10 25个点RMS调整曲线图

通过仿真结果可以看到, 25个点在工况三的情况下, 由调整前的 0.0350mm 经过20到25次调整后所有调整点的位移量都在 10^{-3}mm 以下, 精度已经达到了微米量级。

表2所示为训练完成后第一个节点的状态动作表。

表2 第一个节点的状态动作表

15.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
64.32	0.00	0.00	0.00	20.44	0.00	0.00
0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	40.81	10.44
16.70	3.96	7.20	0.00	0.44	0.40	0.40

5 结论:

1. 本文通过对大型展开天线背部支撑桁架的有限元分析, 以粒子群算法为理论依据对支撑点位置进行优化, 找到了初步满足系统要求的支撑点。

2. 基于哈密顿原理建立天线面板调整数学模型。

3. 利用基于Q学习解耦控制方法有效的对大型展开天线中间面板主动调整系统的复合耦合作用和不确定性进行了控制。

参考文献

- [1]李福,阮萍,赵葆常.重力作用下平面反射镜面变形研究[J].光子学报, 2005.34(2): 272-275.
- [2]陈永聪,胡永明.背部支撑主反射镜的面形分析与支撑点优化[J].光子学报,2007.36(9)1730-1733.
- [3]杨亮, 李朝辉. 某空间反射镜支撑装调技术[J].红外与激光工程,2013.42(12):3277-3282.
- [4]耿麟先, 杨洪波. 大口径平背形主镜背部支撑位置优化计算方法[J].光学技术, 2007.33(6):889-891.
- [5] Gang-Won Jang Optimization of Support Locations of Beam and Plate Structures Under Self-Weight by Using a Sprung Structure Model. Journal of Mechanical Design[J].2009.131.
- [6]Z. Mróz, and GIN. Rozvany ,1975, Optimal Design of Structures With Variable Support Conditions, J. Optim. Theory Appl., 15(1), p. 85-101.
- [7]W. Prager, , and G. I. N. Rozvany, 1975, Plastic Design of Beams: Optimal Locations of Supports and Steps in Yield Moment, Int. J. Mech. Sci., 17, p.627-631.
- [8]K.Dems, and R. H. Plaut , 1990, Design of Beams, Plates and Their Elastic Foundations for Uniform Foundation Pressure," Structural Optimization., 2, p.213-222.
- [9]R.L.Taylor, The Finite Element Method(5th ed)(M), Tsinghua University Press,p 36-49.
- [10]Moaveni S,Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS [M],电子工业出版社,p.48-52
- [11]Kennedy J,Eberhart R C.Particle swarm optimization[A]. Proc IEEE International Conference on Neural Networks [C].USA :IEEE Press, 1995.1942 -1948.
- [12]Eberhart R C,Kennedy J A new optimizer using particle swarm theory[A].Proc Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science[C]. Nagoya,Japan:IEEE Press,1995.39-43.
- [13]张勤. 薄板弯曲问题的无网格局部边界积分方程方法 [D].湖南大学,2002.
- [14]殷聘,姚林泉. 薄板大挠度弯曲问题的IEFG方法 [C].中国计算力学大会,2010.

[责任编辑、校对: 王军利]

Optimization and Control of Support Locations on Reflecting of Large Deployable Antenna in Space

LIU Zhi-yong^{1,2}

- (1. XianYang Vocational & Technical College, Xianyang, Shaanxi 712000;
2. National-class Laboratory of Electronic Equipment Structure Design,
Ministry of Education, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710000)

Abstract: In this paper, the problem that the number and position of support locations optimizes and controls are studied on the antenna reflecting of a large deployable antenna. First of all, from the finite element model of truss, with Root Mean Square of the antenna reflecting as the goal, the number and position of the support locations of the antenna reflecting was optimized by using particle swarm algorithm, and analyzed the deformation accuracy under different conditions in order to further improve the accuracy. And then, based on Hamiltonian principle, the mathematical model of antenna is established. In order to improve precision further, the model design of the Q learning decoupling controller is used to control the actuator to adjust the antenna reflecting. Last, the method of the accuracy and feasibility is verified by simulation of finite element model.

Keywords: reflecting, support locations, particle swarm optimization, Q-learning

(上接第5页)

Study on the Establishment & Development of Sino-Germany Nuohao Automobile Specialty from the perspective of collectivized Vocational college-running

LI Ya-ya, ZHANG Tao, MENG Min, ZHANG Lei

(Xianyang Vocational Education Group Xianyang, Shaanxi 712000)

Abstract: On the schooling philosophy of “cooperative school running, cooperative people educating, cooperative employment, and cooperative development”, Xianyang vocational education group aims to cultivates high-quality and skilled students to adjust to the economy transfer, industry upgrading and society progress. And the education group will be based on the local economy, plan scientifically, locate correctly, innovate driving, combine government, industry, enterprise and schools, optimize allocation of resources, take full advantage of resources. Based on the school and enterprise deep cooperative mechanism of “subjects co-building, intellectual co-educating, responsibility co-taking, achievement co-sharing”, the education group aims at students quality improving.

Key words: education group, Sino-Germany Nuohao, automobile specialty, establishment and development