

# 基于遥测技术的新型传感器柔性结构 振动优化控制方法

高翔霄, 任月慧, 李思翀, 王宇红, 翟晋

(北京宇航系统工程研究所, 北京 100076)

**摘要:** 为了提高新型传感器柔性结构振动抑制能力, 提出基于遥测技术的新型传感器柔性结构振动优化控制方法; 在速度坐标系、体坐标系下构建新型传感器柔性结构的振动动力学模型, 采用卡尔曼滤波方法实现对新型传感器柔性结构振动参数的融合调节和小扰动抑制; 采用气弹模态参数识别方法, 进行新型传感器柔性结构的振动模态参数识别, 提取新型传感器柔性结构振动特征量, 采用遥测技术进行新型传感器柔性结构振动惯性参数识别, 结合状态反馈调节方法进行稳定性控制, 实现新型传感器柔性结构振动优化控制; 仿真结果表明, 采用该方法进行新型传感器柔性结构振动优化控制的自适应性较好, 其最小均方根误差为 0.034, 具有很好的振动抑制和控制能力。

**关键词:** 遥测技术; 新型传感器; 柔性结构; 振动控制

## Optimal Vibration Control Method of New Sensor Flexible Structure Based on Telemetry Technology

Gao Xiangxiao, Ren Yuehui, Li Sichong, Wang Yuhong, Zhai Jin

(Beijing Aerospace Systems Engineering Research Institute, Beijing 100076, China)

**Abstract:** In order to improve the vibration suppression ability of the new sensor flexible structure, a new sensor flexible structure vibration optimization control method based on telemetry technology is proposed. The vibration dynamic model of the new sensor flexible structure is constructed in the velocity coordinate system and the volume coordinate system. The Kalman filter method is used to realize the fusion adjustment and small disturbance suppression of the vibration parameters of the new sensor flexible structure. The method of aeroelastic modal parameter identification is used to identify the vibration modal parameters of the new sensor flexible structure, extract the vibration characteristics of the new sensor flexible structure, use telemetry technology to identify the vibration inertia parameters of the new sensor flexible structure, and combine the state feedback regulation method to control the stability, so as to realize the optimal vibration control of the new sensor flexible structure. The simulation results show that the adaptive performance of the method is good. The minimum root mean square error of this method is 0.034, which has a good ability of vibration suppression and control.

**Keywords:** telemetry technology; new sensor; flexible structure; vibration control

## 0 引言

随着新型传感器不断应用在各种传感探测领域, 对新型传感器装置的柔性结构的振动稳定性提出了更高的要求, 相关的新型传感器柔性结构控制方法研究受到人们的极大关注<sup>[1]</sup>。

当前, 大多采用人工智能技术和控制技术进行新型传感器柔性结构的振动稳定性控制, 结合对新型传感器柔性结构的姿态参数调节, 提高振动控制的效能。传统方法中, 对新型传感器柔性结构的振动的姿态参数调节分为确定性成分和不确定性成分两部分, 结合对振动结构参数调节和振动动力学分析方法<sup>[2-3]</sup>, 进行新型传感器柔性结构振动的控制律设计, 文献 [4] 中提出基于二次型调节模型的新型

传感器柔性结构振动控制方法, 采用模糊控制方法进行参量自适应调节, 提高新型传感器柔性结构控制的稳定性, 但该方法的抗干扰性不好, 控制输出为稳态性不强。文献 [5] 中提出基于双闭环 LQR 控制的新型传感器柔性结构振动抗扰控制方法, 解决新型传感器柔性结构输出迟滞的问题, 但该方法进行传感器控制的自适应性不好。

针对上述抗干扰性和自适应性不好的问题, 本文提出基于遥测技术的新型传感器柔性结构振动优化控制方法。构建新型传感器柔性结构振动动力学模型, 采用气弹模态参数识别方法, 利用遥测技术进行新型传感器柔性结构振动惯性参数识别, 实现新型传感器柔性结构振动优化控制。最后进行仿真实验分析, 展示了本文方法在提高新型传感器柔性结构振动优化控制能力方面的优越性能。

## 1 新型传感器柔性结构振动动力学模型及参数识别

### 1.1 新型传感器柔性结构振动动力学模型

为了实现新型传感器柔性结构振动优化控制, 首先构

收稿日期: 2019-11-06; 修回日期: 2020-01-07。

作者简介: 高翔霄(1968-), 女, 北京人, 高级工程师, 主要从事运载火箭遥测系统总体设计方向的研究。

建新型传感器柔性结构的振动动力学参数模型。

遥测技术是包括输入设备、输出设备、传感器和变换器 4 种单元的遥测系统, 其可以通过变换器把电信号转换成适合不同路径传输与不同设备要求的信号, 从始端到终端都要保证信号不失真。采用融合传感跟踪识别技术, 进行新型传感器柔性结构控制的姿态参数采集, 构建新型传感器柔性结构的参数自适应融合模型, 结合 Kalman 滤波融合方法, 进行遥测柔性动力学参数调节和振动反馈调节<sup>[6]</sup>, 采用陀螺仪、加速度计以及磁力计等敏感元件, 进行新型传感器柔性结构的振动控制, 由于在进行柔性操作的时候, 其负载率具有强耦合、非线性、多输入输出的特性, 因此需要进行建模分析。新型传感器柔性结构的振动控制模型的总体设计构造如图 1 所示。

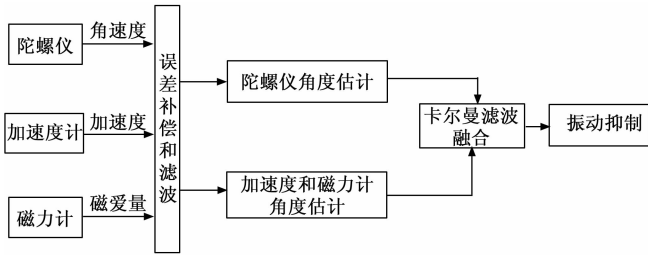


图 1 新型传感器柔性结构振动控制的总体结构模型

根据图 1 所示的新型传感器柔性结构振动控制的总体设计结构图, 在速度坐标系、体坐标系的坐标系下, 进行新型传感器柔性结构振动特征量的遥测设计, 构建新型传感器柔性结构的振动动力学和运动学模型<sup>[7]</sup>, 因为传感器内部的覆盖面积是有限的, 且存在大量的接触面信息, 因此在精确测量的过程中需要测量的面积较大。依据这个条件, 对多个离散的传感器进行有序组合, 才形成传感器的阵列结构, 使得每个单元都很有规则的排列在传感器组合中, 以此达到对传感器内部的三维控制, 提高传感器的检测效果。其中, 最重要的是传感器的单元结构设计。首先对传感器信号进行数字化和预处理, 然后传输到主机当中, 进行数据处理和数据分析。

在系统运行过程中, 传感器的电信号随之变化, 因此传感器的电信号输出大部分仍是模拟信号, 而将信号进行数字化是保证信号稳定传输的主要方式之一。应用数字传感信号处理器, 将信号的偏移和增益利用数字技术进行控制, 在数字域中, 保证传感器信号的校准和补偿。

传感信号预处理的过程是首先将传感器数字信号进行输出量和标注量的标记, 利用某种或标准器具对传感器进行定点标度, 称之为标定, 以此确定系统传感器所受的压力, 校准信号电信号与压力之间的函数关系。

在遥测技术下, 构建新型传感器柔性结构的振动动力学方程描述如下。

纵向振动:

$$\begin{cases} mV\bar{\theta}\cos(\sigma) = F_y \\ J_x\bar{\omega}_{x1} + (J_y - J_x)\omega_{x1}\omega_{y1} = M_{x1} \\ \varphi = \theta + \alpha \end{cases} \quad (1)$$

侧向振动:

$$\begin{cases} -mV\bar{\sigma} = F_z \\ J_y\bar{\omega}_{y1} + (J_x - J_z)\omega_{z1}\omega_{x1} = M_{y1} \\ \varphi = \sigma + \beta \end{cases} \quad (2)$$

横向振动:

$$J_x\bar{\omega}_{x1} + (J_z - J_y)\omega_{y1}\omega_{z1} = M_{x1} \quad (3)$$

其中:  $m$  为新型传感器柔性结构的质量,  $V$  为速度矢量 ( $Ox_2$  轴) 与水平面间的转矩,  $F_y$  为新型传感器柔性结构振动惯性矩,  $J_x$  为柔性结构的振动扰动矩,  $M_{x1}$  为传感器柔性结构系统惯导气动动力转矩,  $\theta$  为振动力学的相位角,  $\alpha$  为侧向推动力, 采用气弹模态参数识别方法, 构建新型传感器柔性结构的振动运动学模型描述为如下非线性方程组:

$$\begin{cases} m\bar{V} = -mg\sin\theta - c_x q S_M + P \\ mV\bar{\theta} = -mg\cos\theta + c_y^a q S_M \alpha + P(\alpha + \delta_\varphi) + m_R l_R \bar{\delta}_\varphi \\ J_{z1} \bar{\varphi} = -c_{y1}^a q S_M (x_R - x_T) \alpha - q S_M m_{dz} l_k^2 \bar{\varphi} / V \\ -P(x_R - x_T) \delta_\varphi - m_R \bar{W}_{x1} l_R \delta_\varphi - m_R l_R \bar{\delta}_\varphi (x_R - x_T) - J_R \bar{\delta}_\varphi \end{cases} \quad (4)$$

其中:  $P$  为新型传感器装置的俯仰力矩,  $S_M$  为法向加速度,  $l_R$  为新型传感器柔性结构对体坐标系  $Oz_1$  的惯性积,  $q$  为纵向运动力矩。综上分析, 构建了新型传感器柔性结构振动动力学模型。

### 1.2 柔性结构的振动力学参数识别

在速度坐标系、体坐标系下构建新型传感器柔性结构的振动动力学模型后, 采用柔性结构的振动力学参数识别, 采用 Lyapunov 稳定性原理进行新型传感器柔性结构系统控制优化, 新型传感器柔性结构在振动末端<sup>[8]</sup>, 如果在传感器的输出层没有得到期望的输出, 那么在计算输出层的误差变化值的时候, 误差信号沿原来的连接通路反转回来, 因此, 选取新型传感器柔性结构的振动动态变量为  $x = [\varphi, \bar{\varphi}, \theta]^T$ , 表示新型传感器柔性结构的动态扰动特征量。采用模糊积分控制方法进行新型传感器柔性结构执行机构的惯导控制, 新型传感器柔性结构遥测状态量为  $x = [\varphi_0 + \Delta\varphi, \bar{\varphi}_0 + \Delta\bar{\varphi}, \theta_0 + \Delta\theta]^T$ ,  $\delta_\varphi = \Delta\delta_\varphi$ , 采用遥测传感器进行新型传感器柔性结构的动力学参数识别, 采用 EKF 滤波, 得到新型传感器柔性结构的模型线性化方程为:

$$\begin{cases} mV\Delta\bar{\theta} = (c_y^a q S_M + P)\Delta\omega + mg\sin\theta\Delta\theta + P\Delta\delta_\varphi + m_R l_R \Delta\bar{\delta}_\varphi + F_{gr} \\ J_{z1} \Delta\bar{\varphi} = -c_{y1}^a q S_M (x_R - x_T) \Delta\omega - q S_M m_{dz} l_k^2 \Delta\bar{\varphi} / V - \\ P(x_R - x_T) \Delta\delta_\varphi - m_R \bar{W}_{x1} l_R \Delta\delta_\varphi - \\ m_R l_R \Delta\bar{\delta}_\varphi (x_R - x_T) - J_R \Delta\delta_\varphi + M_{gr} \end{cases} \quad (5)$$

其中:  $\omega$  为新型传感器柔性结构的转动相位角,  $F_{gr}$  表示旋转矩,  $J_R$  表示新型传感器柔性传动惯量,  $M_{gr}$  表示惯性中心分布特征量, 采用四阶龙格库塔法进行遥测设计, 在柔性动力学参数模型, 进行新型传感器柔性传动的在线估计。

在对新型传感器信号进行记录、显示和处理的过程中, 为精准获得传感器信号, 求解新型传感器柔性结构的状态量约束方程, 选择最优控制律下, 采用模态识别方法, 进行柔性结构的振动力学参数识别, 得到参数的优化模型为:

$$\begin{cases} \bar{\Delta\theta} = c_1\Delta\alpha + c_2\Delta\theta + c_3\Delta\delta_\varphi + c''_3\Delta\bar{\delta}_\varphi + \bar{F}_{gr} \\ \Delta\bar{\varphi} + b_1\Delta\bar{\varphi} + b_2\Delta\alpha + b_3\Delta\delta_\varphi + b''_3\Delta\bar{\delta}_\varphi = \bar{M}_{gr} \\ \Delta\varphi = \Delta\theta + \Delta\alpha \end{cases} \quad (6)$$

其中： $\bar{F}_{gr}$  表示新型传感器柔性结构的控制增益， $\bar{M}_{gr}$  表示扰动特征分量。

由此实现了柔性结构的振动力学参数识别，采用模糊反馈调节方法进行新型传感器柔性结构的振动误差修正和纠偏控制，实现新型传感器柔性结构自适应鲁棒控制。

## 2 新型传感器柔性结构振动优化控制

### 2.1 振动模态参数的遥测优化

在上述构建新型传感器柔性结构振动动力学模型的基础上，进行柔性结构的振动优化控制设计。传感器的受力点是在各单元的各个节点相对独立情况下实现的，即假定传感器受外力时，受力点的形变可忽略，因此采用卡尔曼滤波方法实现对新型传感器柔性结构振动参数的融合调节和小扰动抑制，采用卡尔曼滤波方法实现对新型传感器柔性结构振动参数的融合调节和小扰动抑制处理，容积卡尔曼滤波函数表示为：

$$\begin{cases} \bar{\varphi}_a = -(b_1 + \Delta b_1)\bar{\varphi}_a - (b_2 + \Delta b_2)\varphi_a - (b_3 + \Delta b_3)\delta_\varphi + fd_1 \\ \bar{\psi}_a = -(b_1 + \Delta b_1)\bar{\psi}_a - (b_2 + \Delta b_2)\psi_a - (b_3 + \Delta b_3)\delta_\psi + fd_2 \\ \bar{\gamma} = -(d_3 + \Delta d_3)\delta_\gamma + fd_3 \end{cases} \quad (7)$$

式中， $\varphi_a$ 、 $\psi_a$ 、 $\gamma$  为新型传感器柔性结构在横向、侧向和纵向方向上的自适应控制参数， $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ 、 $d_3$  为遥测控制变量，为已知系数， $\Delta b_1$ 、 $\Delta b_2$ 、 $\Delta b_3$ 、 $\Delta d_3$  为新型传感器柔性结构的外力矩， $fd_1$ 、 $fd_2$ 、 $fd_3$  为扰动力矩， $\delta_\varphi$ 、 $\delta_\psi$ 、 $\delta_\gamma$  为新型传感器柔性结构末端估计参数值。

假设新型传感器柔性结构的遥测状态特征量关于  $x_1Oy_1$  平面对称，采用 Lyapunov 求导方法<sup>[9]</sup>，得到新型传感器柔性结构的遥测状态参数调节模型为：

$$\begin{cases} \bar{\varphi}_a = -b_1\bar{\varphi}_a - b_2\varphi_a - b_3\delta_\varphi + \rho_1 \\ \bar{\psi}_a = -b_1\bar{\psi}_a - b_2\psi_a - b_3\delta_\psi + \rho_2 \\ \bar{\gamma} = -d_3\delta_\gamma + \rho_3 \end{cases} \quad (8)$$

其中： $\rho_1 = -\Delta b_1\bar{\varphi}_a - \Delta b_2\varphi_a - \Delta b_3\delta_\varphi + fd_1$ ， $\rho_2 = -\Delta b_1\bar{\psi}_a - \Delta b_2\psi_a - \Delta b_3\delta_\psi + fd_2$ ， $\rho_3 = -\Delta d_3\delta_\gamma + fd_3$  为不确定项。

由于新型传感器柔性结构的阻尼力、位置力是线性变化的，在线性振动下，基于遥测技术，得到柔性结构的稳定性特征量描述为：

$$\bar{\varphi}_a = a_1\bar{\varphi}_a + a_2\varphi_a + bu + f_d \quad (9)$$

式中， $b > 0$ ， $\varphi_a$  为正向运动学参数估计的差值， $u$  为新型传感器柔性结构振动的遥测参数， $f_d$  为遥测惯性特征序列，结合反演微分控制方法，实现新型传感器柔性结构的遥测优化。

### 2.2 控制律的优化设计

进行新型传感器柔性结构的振动模态参数识别，提取新型传感器柔性结构振动特征量，新型传感器柔性结构的振动模态参数分为  $M$  和  $h(\varphi_a, \bar{\varphi}_a)$  组成，新型传感器柔性结

构的模糊惯性参数分布为：

$$M = M_n + \Delta M \quad (10)$$

$$h(\varphi_a, \bar{\varphi}_a) = h_n(\varphi_a, \bar{\varphi}_a) + \Delta h(\varphi_a, \bar{\varphi}_a) \quad (11)$$

其中： $M_n$  和  $h_n(\varphi_a, \bar{\varphi}_a)$  为遥测状态特征量的确定成分， $\Delta M$  和  $\Delta h(\varphi_a, \bar{\varphi}_a)$  为新型传感器柔性结构的遥测状态参数的不确定成分。

在卡尔曼滤波预估模型中实现对动力学模型的线性化处理，在扩展卡尔曼滤波模型下，新型传感器柔性结构振动轨迹预测方程表示为：

$$M_n\bar{\varphi}_a + h_n(\varphi_a, \bar{\varphi}_a) = u(t) + \rho(t) \quad (12)$$

其中：

$$\rho(t) = -\Delta M\bar{\varphi}_a - \Delta h(\varphi_a, \bar{\varphi}_a) + d(t) \quad (13)$$

利用新型传感器柔性结构振动轨迹跟踪控制的稳定性调节，构建遥测参数自适应调节模型，在不确定的扰动上界中，得到  $\bar{\rho}(t)$ ，构建新型传感器柔性结构的模糊控制阈值满足：

$$|\rho(t)| < \bar{\rho}(t) \quad (14)$$

在初始化的遥测参数中，采用自适应滑模控制方法，得到新型传感器柔性结构的振动参数调节模型为：

$$\begin{aligned} f(x_1, x_2) &= \frac{1}{Cm} [I_{SM}^2 - I_L^2 - I_n^2 - I_k^2 - I_\tau^2 - I_{syn}^2 - \\ & I_{SM}^1 + I_L^1 + I_n^1 + I_k^1 + I_\tau^1 + I_{syn}^1] \\ T_h(V_{Th}) &= \frac{1}{\tau_h(V_{Th})} \\ T_w(V_{Th}) &= \frac{1}{\tau_w(V_{Th})} \end{aligned} \quad (15)$$

其中： $V_{Th}$  表示振动阈值， $\tau_h$  表示振动时延， $\tau_w$  表示新型传感器柔性振动控制时间窗口，如果  $f(x_1, x_2)$  已知，得到新型传感器柔性结构振动控制输出的唯一解为：

$$u^* = -k_e v - f(x_1, x_2) \quad (16)$$

误差反馈输出：

$$\begin{aligned} \bar{e}_v &= -K_e v \\ \bar{e}_h &= T_h(V_{Th}^1, e_v)h(V_{Th}^1, e_v) - T_h(V_{Th}^1)h(V_{Th}^1) - \\ & T_h(V_{Th}^1, e_v)e_h - [T_h(V_{Th}^1, e_v) - T_h(V_{Th}^1)]h_1 \\ \bar{e}_w &= \varphi\{T_w(V_{Th}^1, e_v)\omega(V_{Th}^1, e_v) - T_w(V_{Th}^1)\omega(V_{Th}^1) - \\ & T_w(V_{Th}^1, e_v)e_w - [T_w(V_{Th}^1, e_v) - T_w(V_{Th}^1)]\omega_1\} \end{aligned} \quad (17)$$

若设  $e_v = 0$ ，新型传感器柔性结构的振动载荷  $p_i(t)$  ( $i = 1, 2, 3$ )，控制增益的表达式如下：

$$\begin{aligned} p_i(t) &= e_i(0) + \bar{e}_i(0)t + \left[\frac{a_{00}}{T^2}e_i(0) + \frac{a_{01}}{T}\bar{e}_i(0)\right]t^2 + \\ & \left[\frac{a_{10}}{T^3}e_i(0) + \frac{a_{11}}{T^2}\bar{e}_i(0)\right]t^3 \end{aligned} \quad (18)$$

综上所述，得到新型传感器柔性结构的振动力学参数预测值：

$$\begin{aligned} J &= \\ & \begin{bmatrix} 3.9701 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.0089 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -3.8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1200.76 & -3.9701 & 0 \\ 0 & 0 & 49.25 & 0 & -0.0089 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (19)$$

根据 Lyapunov 稳定性原理, 结合状态反馈调节方法进行稳定性控制, 至此, 实现新型传感器柔性结构振动优化控制<sup>[10]</sup>。

### 3 仿真实验与结果分析

为了验证本文方法在实现新型传感器柔性结构振动控制中的应用性能, 基于 STALLVib 和 Matlab 仿真软件进行新型传感器的柔性机构振动动力学参数采集, 采用工业机器人进行柔性结构的振动标记, 实验模型如图 2 所示。

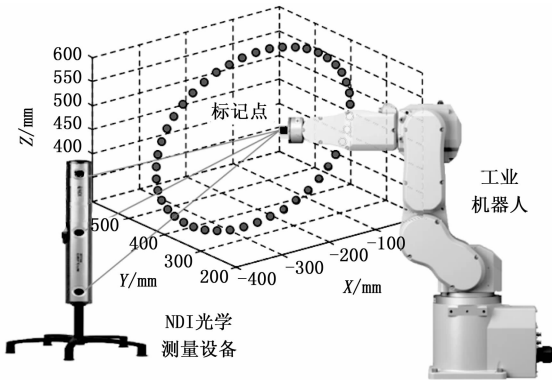


图 2 实验仿真模型

对振动数据采样的训练样本集为 1 200, 末端位置的模态响应为:  $\mathbf{X} = [0.3 \ 0.25 \ 0.14 \ 0]^T$ , 传感器柔性结构的惯性约束参量  $c_1 = c_2 = 1$ ,  $\omega_{\max} = 0.9$ ,  $\omega_{\min} = 0.6$ , 其它参数设定见表 1。

表 1 仿真参数设定

参数名称	取值
激励	145 kN · m
误差测量模态参数	1 400 N · m/rad
期望旋转速率	0.34 rad/s
固有频率	15 kHz
驱动力矩	50 kN · m
振动阶跃响应	0.56
额定速率	13.4 m/s

根据上述仿真环境和参数设定, 进行新型传感器柔性结构振动控制仿真分析, 得到振动数据分布结果如图 3 所示。

图 3 采集的新型传感器柔性结构振动数据为输入, 进行新型传感器柔性结构振动控制, 提取新型传感器柔性结构振动特征量, 采用遥测技术进行新型传感器柔性结构振动惯性参数识别, 在存在扰动误差和建模误差的条件下, 得到控制输出如图 4 所示。

分析图 4 得知, 本文的建模能够对新型传感器柔性结构振动进行控制, 控制误差较小, 且无限拟合, 说明采用本文方法进行新型传感器柔性结构振动控制的输出稳定性较好。

将本文方法与文献 [3]、文献 [4] 方法进行对比, 测试输出误差, 在不同的迭代次数下通过最小均方根误差的数值大小得到对比结果见表 2,

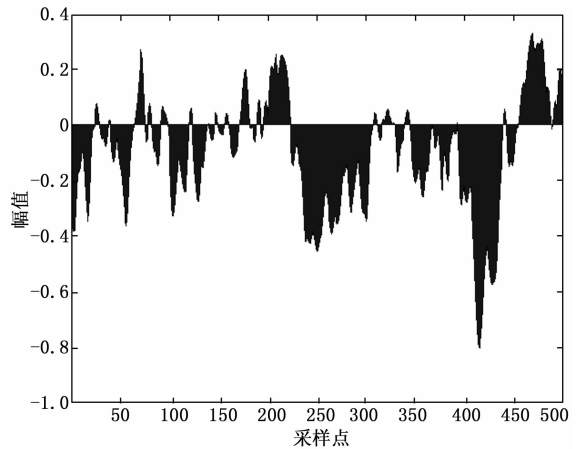


图 3 振动数据分布

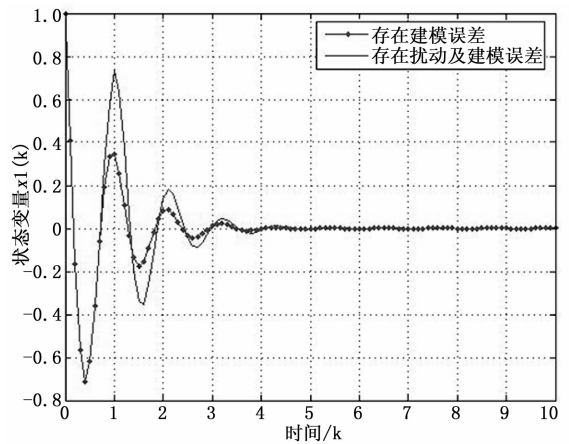


图 4 新型传感器柔性结构振动控制输出

表 2 最小均方根误差

迭代次数	本文方法	文献[3]	文献[4]
100	0.034	0.156	0.144
200	0.015	0.143	0.135
300	0.010	0.067	0.074
400	0.002	0.054	0.054

分析表 2 得知, 本文方法进行新型传感器柔性结构振动控制的输出最小均方根误差较小。本文方法的在迭代次数为 100 时的误差最大为 0.034, 在 400 时的误差最小为 0.002, 皆高于文献 [3] 和文献 [4] 的误差值, 由此可得出实际应用性能较强的结论。

### 4 结束语

本文提出基于遥测技术的新型传感器柔性结构振动优化控制方法。构建新型传感器柔性结构振动动力学模型, 选择最优控制律下, 采用模态识别方法, 采用遥测技术进行新型传感器柔性结构振动惯性参数识别, 结合状态反馈调节方法进行稳定性控制, 实现新型传感器柔性结构振动优化控制。实验分析得知, 本文方法进行新型传感器柔性结构振动控制的输出稳定性较好, 误差较低。但数据的实

际应用仍需进行实例验证，且在未来的研究中，将致力于实际应用性能，再具体的真实环境下，验证并进一步改进所设计控制方法的性能。

参考文献:

[1] 章俊, 张冬梅, 王辛刚. 一类参数不确定连续正系统受限控制 [J]. 信息与控制, 2015, 44 (5): 592-597.

[2] 黄婷, 孙立宁, 王振华, 等. 基于被动柔顺的机器人抛磨力/位混合控制方法 [J]. 机器人, 2017, 39 (6): 776-785.

[3] Han S I, Lee J M. Fuzzy echo state neural networks and funnel dynamic surface control for prescribed performance of a nonlinear dynamic system [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2014, 61 (2): 1099-1112.

[4] Xu Y, Tong S, Li Y. Prescribed performance fuzzy adaptive fault-tolerant control of non-linear systems with actuator faults [J]. IET Control Theory and Applications, 2014, 8 (6): 420-431.

(上接第 58 页)

由表 2 可以看出, 基于 VGGNet-16 网络提出的改进的 VGGNet-16 网络新生儿胆红素水平准确性研究算法在分类的准确率上最高可以达到 97.69%, 平均的分类准确率为 95.56%, 基本上完成了根据新生儿心脏部位表皮图像特征进行胆红素水平测试的任务, 根据分类的不同类别可以给出一个新生儿胆红素水平值的参考数据值, 在保证不伤害新生儿健康的情况下, 做到了检测准确、方便, 满足实时分析的需求。

3 结束语

提出了一种改进的 VGGNet-16 网络在新生儿胆红素水平准确性研究的算法, 该算法借助卷积神经网络对于图像特征提取方面的优势, 对已有的新生儿医疗照片进行特征提取, 然后借助全连接神经网络对这些提取的特征值进行 6 个种类的分类, 每个类别中标注了新生儿胆红素检测值的范围, 作为检测水平值的参考; 为了充分利用已有的小数据新生儿医疗数据, 采用交叉验证的方法进行训练与验证。经验证, 该算法在新生儿胆红素水平照片分类的准确率上最高可达 97.69%, 平均准确率达 95.56%, 达到了实用的水平。

本文存在着训练数据小的弊端, 在未来的算法改进过程中, 应该加大与其他医院的新生儿胆红素医疗数据的交流, 争取利用大量数据使得算法准确率更高, 更具泛化性。

参考文献:

[1] Maisels M J. Managing the jaundiced newborn: a persistent challenge [J]. Canadian Medical Association Journal, 2015, 187 (5): 335-343.

[2] 容志惠, 罗芳, 马丽亚, 等. 基于智能手机应用软件拍照监测对新生儿高胆红素血症随访的意义 [J]. 中华儿科杂志,

[5] 张秀丽, 谷小旭, 赵洪福, 等. 一种基于串联弹性驱动器的柔顺机械臂设计 [J]. 机器人, 2016, 38 (4): 385-394.

[6] Valente A. Reconfigurable industrial robots: A stochastic programming approach for designing and assembling robotic arms [J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2016, 41: 115-126.

[7] Singh H P, Sukavanam N. Stability analysis of robust adaptive hybrid position/force controller for robot manipulators using neural network with uncertainties [J]. Neural Computing & Applications, 2013, 22 (7-8): 1745-1755.

[8] 杨明远, 孙汉旭, 贾庆轩, 等. 七自由度空间机械臂避障路径规划方法 [J]. 航天器工程, 2011, 20 (4): 65-71.

[9] 刘振, 徐学文, 李静. 考虑协同制导的编队一体化防空问题分析与求解 [J]. 指挥与控制学报, 2018, 4 (3): 213-219.

[10] 杨洋, 王思明. 空间柔性机械臂高阶滑模干扰观测器轨迹跟踪 [J]. 传感器与微系统, 2019, 38 (2): 114-117.

[11] 周玉贞, 桂齐, 李馨蓉, 等. 新生儿高胆红素血症患儿蓝光照射治疗后经皮测胆红素最佳测定时间的研究 [J]. 中国实用护理杂志, 2015, 31 (9): 640-642.

[12] 陈少丽. 190 例新生儿血清胆红素联合经皮胆红素测定黄疸的临床研究 [J]. 现代诊断与治疗, 2016, 27 (10): 1782-1783.

[13] 范晓莹, 陈伟. 新生儿黄疸动态监测及早期干预治疗疗效观察 [J]. 安徽医学, 2015, 36 (6): 693-695.

[14] 韩兴, 刘晓平, 王刚, 等. 基于深度神经网络复杂场景下机器人拣选方法 [J]. 北京邮电大学学报: 2019 (11): 1-6.

[15] 梁晓旭. 基于卷积神经网络的遥感图像分类算法研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2018.

[16] 钱小梅, 刘嘉勇, 程瓦森. 基于密集连接卷积神经网络的远程监督关系抽取 [J]. 计算机科学: 2019 (11): 1-10.

[17] 王红霞, 周家奇, 辜承昊, 等. 用于图像分类的卷积神经网络中激活函数的设计 [J]. 浙江大学学报: 工学版, 2019 (7): 1363-1373.

[18] 蒋锐鹏, 姑丽加玛丽·麦提艾力, 安丽娜. 基于长短期记忆神经网络的手写数字识别 [J]. 计算机技术与发展, 2020 (2): 1-6.

[19] 王功鹏, 段萌, 牛常勇. 基于卷积神经网络的随机梯度下降算法 [J]. 计算机工程与设计.

[20] 周旺旺, 姚佩阳, 张杰勇, 等. 基于深度神经网络的空中目标作战意图识别 [J]. 航空学报, 39 (11): 200-208.

[21] 宋攀, 景丽萍. 基于神经网络探究标签依赖关系的多标签分类 [J]. 计算机研究与发展, 55 (8): 157-165.

[22] 宁方鑫. 基于卷积神经网络的水上目标检测方法研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2017.

[23] 任钱德. 基于偏最小二乘回归的多标签分类算法研究 [D]. 金华: 浙江师范大学, 2013.