

## 受扰航天器姿态动力学中参数未知的混沌运动控制

贾飞蕾<sup>1)2)†</sup> 徐伟<sup>3)</sup> 李恒年<sup>1)</sup> 侯黎强<sup>1)</sup>

1) (宇航动力学国家重点实验室, 西安 710043)

2) (西安卫星测控中心, 西安 710043)

3) (西北工业大学理学院, 西安 710072)

(2012年10月21日收到; 2013年1月11日收到修改稿)

研究了扰动力矩作用下航天器姿态运动的欧拉动力学方程. 讨论了当选取扰动力矩中不同的参数矩阵, 欧拉方程可产生一大类混沌系统. 设计了基于 Lyapunov 方法的自适应控制律, 完成了该类系统中参数未知的混沌运动的控制, 并且能够将系统状态变量稳定于指定平衡点, 同时实现了对未知参数的实时辨识. 以 Newton-Leipnik 系统为例, 进行了数值仿真, 仿真结果表明了该方法的有效性.

**关键词:** 姿态运动, 混沌控制, 参数未知, Newton-Leipnik 系统

**PACS:** 05.45.Gg

**DOI:** 10.7498/aps.62.100503

## 1 引言

自从 Ott, Grebogi 和 Yoke (OGY)<sup>[1]</sup> 提出混沌控制思想以来, 混沌控制在理论研究和实际应用中得到了普遍的重视, 越来越多的控制方法应用于混沌控制<sup>[2-5]</sup>. 1981 年, Leipnik 和 Newton<sup>[6]</sup> 在描述刚体姿态旋转运动的动力学方程中, 发现了奇怪吸引子. 随后, 有关刚体运动中的混沌动力学特性得到越来越多的研究<sup>[7-9]</sup>. 文献 [7] 分析了欧拉动力学方程的非线性特性, 得出了与轨道流形理论不同的吸引子存在结论. 文献 [8] 研究万有引力场中受大气阻力且存在结构内阻尼的非自旋航天器在椭圆轨道上平面天平运动的混沌及其参数开闭环控制问题, 并将其应用于控制航天器的混沌姿态运动. 文献 [9] 描述航天器、陀螺和气浮台等刚体姿态运动的欧拉动力学方程, 采用基于输出反馈的 PI 型控制器将一种新的混沌运动稳定于指定平衡点. 然而, 在实际中, 刚体运动中产生的混沌系统的参数尚不明了, 未知参数会对混沌控制产生一定的影响. 因此, 研究航天器姿态中参数未知的混沌运动是非常必要的.

由于扰动力矩通常情况下比较小, 但是它具有

周期性和长期性, 因此长时间作用于航天器, 会改变航天器的姿态. 当扰动力矩满足一定的条件, 会迫使航天器姿态做混沌运动, 这种运动可使航天器酿成灾难性的后果. 因此, 研究扰动力矩作用下航天器姿态动力学中混沌运动的控制具有重要的意义.

针对上述问题, 本文以刚体航天器等刚体的姿态运动的欧拉动力学方程为研究对象, 分析了选取扰动力矩中不同的参数矩阵、欧拉方程的混沌运动. 基于 Lyapunov 方法, 设计了自适应控制律, 实现了对该类方程的混沌运动的控制, 并且该方法能够对系统中的未知参数进行实时估计. 最后对 Newton-Leipnik 系统进行了数值仿真, 仿真结果表明了该方法的简洁性和有效性.

## 2 航天器运动方程

航天器的姿态动力学方程是描述航天器在各种力矩作用下绕其质心的转动运动. 假设航天器为一刚体, 则根据刚体动量矩定理和公式可得:

$$\dot{H} + \omega^\times H = u + T_d, \quad (1)$$

式中,  $\omega = [\omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3]^T \in \mathbf{R}^{3 \times 1}$  为航天器本体坐标系

† 通讯作者. E-mail: feileijia@mail.nwpu.edu.cn

相对于惯性坐标系且表示在本体坐标系上的姿态角速度矢量;  $\mathbf{H} = [H_1 H_2 H_3]^T = \mathbf{I}\boldsymbol{\omega} \in \mathbf{R}^{3 \times 1}$  为航天器的角动量矢量,  $\mathbf{I} \in \mathbf{R}^{3 \times 3}$  为航天器的惯量矩阵;  $\mathbf{u} = [u_1 u_2 u_3]^T \in \mathbf{R}^{3 \times 1}$  是控制力矩矢量; 符号  $(\cdot)^\times$  表示斜对称矩阵, 即任给一个向量  $\boldsymbol{\omega} = [\omega_1 \omega_2 \omega_3]^T$ ,

$$\boldsymbol{\omega}^\times = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_3 & \omega_2 \\ \omega_3 & 0 & -\omega_1 \\ -\omega_2 & \omega_1 & 0 \end{bmatrix}. \mathbf{T}_d \in \mathbf{R}^{3 \times 1} \text{ 为航天器}$$

所受的干扰力矩, 通常可以表示为如下非线性形式:

$$\mathbf{T}_d = \mathbf{D}\boldsymbol{\omega} + \mathbf{G}, \quad (2)$$

式中,  $\mathbf{D} = [d_{ij}]_{3 \times 3} \in \mathbf{R}^{3 \times 3}$  ( $i, j = 1, 2, 3$ ),  $\mathbf{G} = [g_1 g_2 g_3]^T \in \mathbf{R}^{3 \times 1}$ .

**说明 1** 矩阵  $\mathbf{D}$  可以是常数矩阵, 也可以是随姿态角速度  $\boldsymbol{\omega}$  变化的矩阵; 矩阵  $\mathbf{G}$  可以是随轨道角速度变化的矩阵, 其可以是常数矩阵、周期变化的矩阵或者长期项矩阵.

取航天器主惯量轴为本体坐标系, 则  $\mathbf{I} = \text{diag}(I_1, I_2, I_3)$  为对角矩阵. 将 (1) 式写成分量的形式, 并且将 (2) 式代入 (1) 式可得

$$\begin{cases} \dot{\omega}_1 = a_1 \omega_2 \omega_3 + b_{11} \omega_1 + b_{12} \omega_2 + b_{13} \omega_3 \\ \quad + c_1 + \mu_1, \\ \dot{\omega}_2 = a_2 \omega_1 \omega_3 + b_{21} \omega_1 + b_{22} \omega_2 + b_{23} \omega_3 \\ \quad + c_2 + \mu_2, \\ \dot{\omega}_3 = a_3 \omega_2 \omega_1 + b_{31} \omega_1 + b_{32} \omega_2 + b_{33} \omega_3 \\ \quad + c_3 + \mu_3, \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $a_1 = (I_2 - I_3)/I_1$ ,  $a_2 = (I_3 - I_1)/I_2$ ,  $a_3 = (I_1 - I_2)/I_3$  为相对惯量比,  $[b_{ij}]_{3 \times 3} = [d_{ij}/I_i]_{3 \times 3}$ ,  $c_i = \frac{g_i}{I_i}$ ,  $\mu_i = \frac{u_i}{I_i}$  为控制力矩产生的加速度 ( $i, j = 1, 2, 3$ ). 令  $\mathbf{A} = \text{diag}(a_1 a_2 a_3) \in \mathbf{R}^{3 \times 3}$ ,  $\mathbf{B} = [b_{ij}]_{3 \times 3} \in \mathbf{R}^{3 \times 3}$ ,  $\mathbf{C} = [c_1 c_2 c_3]^T \in \mathbf{R}^{3 \times 1}$ .

记  $\omega_i$  为  $x_i$ , 则 (3) 式可记为

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = a_1 x_2 x_3 + b_{11} x_1 + b_{12} x_2 + b_{13} x_3 \\ \quad + c_1 + \mu_1, \\ \dot{x}_2 = a_2 x_1 x_3 + b_{21} x_1 + b_{22} x_2 + b_{23} x_3 \\ \quad + c_2 + \mu_2, \\ \dot{x}_3 = a_3 x_2 x_1 + b_{31} x_1 + b_{32} x_2 + b_{33} x_3 \\ \quad + c_3 + \mu_3, \end{cases} \quad (4)$$

这就是要研究的非线性方程组.

### 3 系统中的混沌吸引子

本节研究无控制力矩即  $\mathbf{u} = \mathbf{0}$  时, 系统 (4) 式的混沌运动.

选择不同的参数  $\mathbf{B}$  和  $\mathbf{C}$ , 系统 (4) 式可以产生不同的混沌系统. 因为矩阵  $\mathbf{B}$  可以是常数矩阵, 也可以是随角速度变化的矩阵. 下面就矩阵  $\mathbf{B}$  的这两种情形来讨论形成不同的混沌系统.

1) 当扰动力矩  $\mathbf{T}_d$  中矩阵  $\mathbf{B}$  为常数矩阵时

假设航天器绕  $x$  轴旋转, 且航天器相对于自旋轴是对称的, 即  $I_2 = I_3$ . 在工程中, 为了确保航天器姿态的稳定性, 一般设计自旋轴惯量与横向轴惯量之比至少大于 1.05. 选择

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} -a & a & 0 \\ c & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -b \end{bmatrix},$$

( $a, b, c$  为常数),  $\mathbf{C} = [0 \ 0 \ 0]^T$ ,  $I_1 = 2I_2 = 2I_3$ ,  $\mathbf{A} = \text{diag}(0 \ -1 \ 1)$ . 当选取参数  $a = 10, b = 38, c = 8/3$  时, (4) 式为经典的 Lorenz 系统:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = a(x_2 - x_1), \\ \dot{x}_2 = cx_1 - x_2 - x_1x_3, \\ \dot{x}_3 = -bx_3 + x_1x_2. \end{cases}$$

同理可得 Chen 系统、Lu 系统等.

2) 当扰动力矩  $\mathbf{T}_d$  中矩阵  $\mathbf{B}$  为随角速度变化的矩阵时

$$\text{选择 } \mathbf{B} = \begin{bmatrix} -0.4 & 1+x_3 & 0 \\ -1 & -0.4 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha \end{bmatrix}, \mathbf{C} = [10 \ 5 \ -5]^T,$$

$\mathbf{A} = \mathbf{0}$ . 当选取  $\alpha = 0.175$ , (4) 式为 Newton-Leipnik 系统:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -0.4x_1 + x_2 + 10x_2x_3, \\ \dot{x}_2 = -x_1 - 0.4x_2 + 5x_1x_3, \\ \dot{x}_3 = \alpha x_3 - 5x_1x_2, \end{cases}$$

混沌吸引子如图 1.

选择

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -a+x_1 & -b & -c \end{bmatrix},$$

$\mathbf{C} = [0 \ 0 \ 0]^T$ ,  $\mathbf{A} = \mathbf{0}$ . 当选取  $a = 1, b = 1.1, c = 0.44$ ,

(4) 式为 Genesio-Tesi 系统:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = x_3, \\ \dot{x}_3 = -ax_1 - bx_2 - cx_3 + x_1^2, \end{cases}$$

混沌吸引子如图 2.

选择

$$B = \begin{bmatrix} -2 & 6.7 & -x_2 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & x_2 & -1 \end{bmatrix},$$

$C = [0 \ 0 \ 0]^T$ ,  $A = 0$ . 当选取  $a = 2, b = 6.7$ , (4) 式为 Rucklidge 系统:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -ax_1 + bx_2 - x_2x_3, \\ \dot{x}_2 = x_1, \\ \dot{x}_3 = -x_3 + x_2^2, \end{cases}$$

混沌吸引子如图 3.

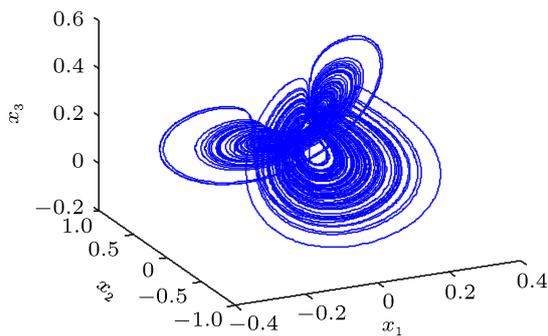


图 1 Newton-Leipnik 混沌吸引子

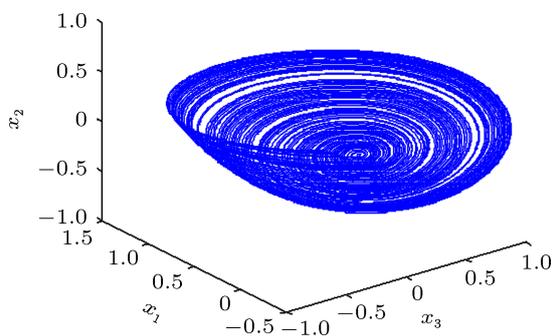


图 2 Genesio-Tesi 混沌吸引子

同理可得 Rossler, Liu 等系统.

由此可见, 选择扰动力矩  $T_d$  中不同的矩阵  $B$  可形成无数个不同的混沌吸引子, 因而系统 (4) 式描述了一大类混沌系统. 本文就 Newton-Leipnik 混沌系统的动力学进行分析和控制.

容易看出, Newton-Leipnik 系统具有 5 个平衡点  $E_0 = (0 \ 0 \ 0)$ ,  $E_1 = (0.0315 \ -0.1224 \ -0.1103)$ ,  $E_2 = (-0.0315 \ 0.1224 \ -0.1103)$ ,  $E_3 = (0.2390 \ 0.0308 \ 0.2103)$ ,  $E_4 = (-0.2390 \ -0.0308 \ 0.2103)$ . 对 Newton-Leipnik 系统流进行差分, 可得

$$\nabla \cdot F = \frac{\partial F_1}{\partial x_1} + \frac{\partial F_2}{\partial x_2} + \frac{\partial F_3}{\partial x_3} = -0.8 + \alpha < 0,$$

式中:  $F = (F_1, F_2, F_3) = (-0.4x_1 + x_2 + 10x_2x_3, -x_1 - 0.4x_2 + 5x_1x_3, \alpha x_3 - 5x_1x_2)$ .

因此可知, Newton-Leipnik 系统是耗散系统, 随着时间的增大其解是有界的.

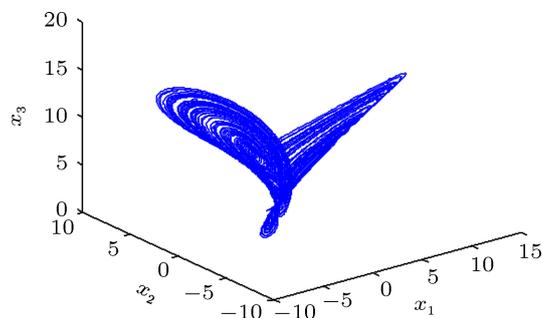


图 3 Rucklidge 混沌吸引子

## 4 混沌运动的控制

考虑带有未知参数的混沌系统

$$\dot{x} = f(x) + F(x)\hat{p} + u, \quad (5)$$

这里  $x \in \mathbb{R}^{n \times 1}$  为状态向量,  $f(x) \in \mathbb{R}^{n \times 1}$ ,  $F(x) \in \mathbb{R}^{n \times m}$ ,  $\hat{p} \in \mathbb{R}^{m \times 1}$  为未知参数向量,  $u \in \mathbb{R}^{n \times 1}$  为控制输入.

性质 1  $\forall x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T, y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T, \exists l > 0$ , 使得下式成立:

$$\begin{aligned} |f_i(x) - f_i(y)| &\leq l \max_j |x_j - y_j|, \\ i, j &= 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (6)$$

说明 2 条件 (6) 称为一致 Lipschitz 条件, 常数  $l$  称为 Lipschitz 常数. 许多混沌系统都满足条件 (6), 如 Newton-Leipnik 系统, Lorenz 系统, Rossler 系统等.

令  $e = x - x_*$ , 则

$$\dot{e} = f(x) + F(x)\hat{p} + u, \quad (7)$$

式中,  $x_*$  为系统 (5) 的平衡点.

### 4.1 自适应控制器设计

我们的目的是设计一个合适的控制器和参数自适应律,使得误差系统(7)在零平衡点附近稳定,即  $\lim_{t \rightarrow \infty} \|e\| = 0$ .

**定理 1** 在误差系统(7)中,若选择控制器

$$u = -F(x)p + \varepsilon e - f(x_*), \quad (8)$$

参数  $p \in R^{m \times 1}$ ,  $\varepsilon = \text{diag}(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n) \in R^{n \times n}$  服从自适应律

$$\begin{aligned} \dot{p} &= [F(x)]^T e, \quad \dot{\varepsilon}_i = -\beta_i e_i^2, \\ \beta_i &> 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, \end{aligned} \quad (9)$$

则误差系统(7)在零平衡点是稳定的,即系统(5)趋于其平衡点.

**证明** 令  $\tilde{p} = p - \hat{p}$ , 构造正定的函数为

$$V = \frac{1}{2}(e^T e + \theta^T \theta) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\beta_i} (\varepsilon_i + L)^2, \quad (10)$$

式中:  $L > nl > 0$ , 对  $V$  关于时间  $t$  求导数可得

$$\begin{aligned} \dot{V} &= e^T e + \tilde{p}^T \dot{\tilde{p}} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{\beta_i} (\varepsilon_i + L) \dot{\varepsilon}_i \\ &= [f(x) + F(x)\hat{p} - F(x)p + \varepsilon e - f(x_*)]^T e \\ &\quad + \tilde{p}^T [F(x)]^T e - \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i + L) e_i^2 \\ &= [f(x) - f(x_*)]^T e - L \sum_{i=1}^n e_i^2. \end{aligned} \quad (11)$$

由于

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^n (f_i(x) - f_i(x_*))(x_i - x_{*i}) \\ &\leq \sum_{i=1}^n |f_i(x) - f_i(x_*)| |x_i - x_{*i}|, \end{aligned} \quad (12)$$

记  $|x_l - x_{*l}| = \max_j |x_j - x_{*j}|$ , 因此有

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^n (f_i(x) - f_i(x_*))(x_i - x_{*i}) \\ &\leq l |x_l - x_{*l}| \sum_{i=1}^n |x_i - x_{*i}| \leq nl (x_l - x_{*l})^2 \\ &\leq nl \sum_{i=1}^n (x_i - x_{*i})^2 = nl \sum_{i=1}^n e_i^2. \end{aligned} \quad (13)$$

将(13)式代入(11)式可得:

$$\dot{V} \leq nl \sum_{i=1}^n e_i^2 - L \sum_{i=1}^n e_i^2 = (nl - L) \sum_{i=1}^n e_i^2 \leq 0, \quad (14)$$

从(14)式可知  $\dot{V} = 0$  当且仅当  $e_i = 0, i = 1, 2, \dots, n$ . 由 Lasalle 不变原理可知,对于由任意初值出发的

误差系统的轨道,当  $t \rightarrow \infty$  时,均将趋于包含  $\dot{V} = 0$  的最大不变集  $E = \{(e, p, \varepsilon) : e = 0, p = p^0, \varepsilon = \varepsilon^0\}$  中,这就意味着误差系统(7)在零平衡点是稳定的,即系统(5)趋于其平衡点.

**说明 3** 由于系统(5)的模型结构具有一般性,因此上述问题的研究其实包含了以下两种情况,即系统参数已知情形下的控制和系统的参数未知情形下的控制.下面我们仅对第二种情况进行数值仿真以证明该方法的有效性.

### 4.2 仿真示例

本节采用 4.1 节设计的自适应控制方法,将参数未知的 Newton-Leipnik 系统中的状态变量控制于平衡点  $E_0, E_1, E_2, E_3, E_4$ , 并且使系统中的未知参数趋于其真实值.

比较 Newton-Leipnik 系统和(5)式可知:

$$\dot{x} = f(x) + F(x)\hat{p} + u,$$

式中,

$$\begin{aligned} f(x) &= \begin{bmatrix} -0.4x_1 + x_2 + 10x_2x_3 \\ -x_1 - 0.4x_2 + 5x_1x_3 \\ -5x_1x_2 \end{bmatrix}, \\ F(x) &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ x_3 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \hat{p} = \begin{bmatrix} \hat{\alpha} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

$u = [u_1 \ u_2 \ u_3]^T$  为控制输入. 根据定理 1, 控制输入  $u$  选为

$$\begin{aligned} u &= -F(x)p + \varepsilon e - f(x_*) \\ &= \begin{bmatrix} -\varepsilon_1 e_1 \\ -\varepsilon_2 e_2 \\ -\alpha x_3 + \varepsilon_3 e_3 \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (15)$$

参数服从自适应律

$$\begin{aligned} \dot{p} &= [F(x)]^T e = x_3 e_3, \\ \dot{\varepsilon}_i &= -\beta_i e_i^2, \quad i = 1, 2, 3. \end{aligned} \quad (16)$$

下面数值仿真中,仅验证该控制方法在平衡点  $E_1$  的稳定性. 通过类似的方法步骤,可检验该方法在其他四个平衡点的有效性.

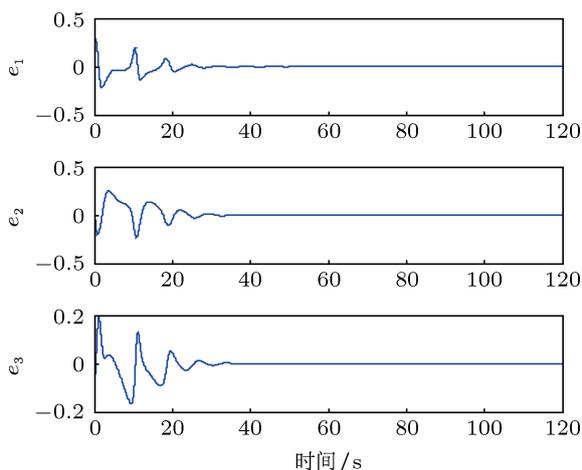


图4 误差  $e$  的时间历程图

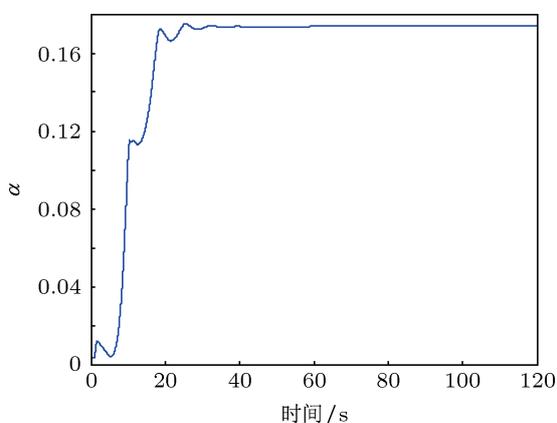


图5 未知参数  $\alpha$  的时间历程图

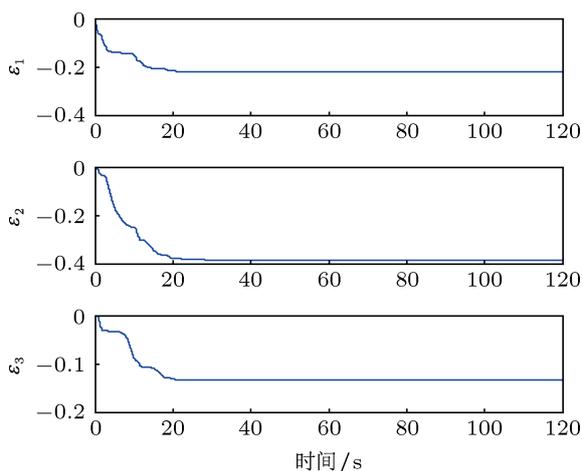


图6 自适应参数  $\epsilon$  的时间历程图

数值仿真中采用步长为 0.001 的四阶龙格-库塔法, 初始值选取为  $\mathbf{x}(0) = [0.349 \ 0 \ -0.16]^T$ ,  $\mathbf{p}(0) = [0 \ 0 \ 0]^T$ ,  $\epsilon_1(0) = 0$ ,  $\epsilon_2(0) = 0$ ,  $\epsilon_3(0) = 0$ ,  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 1.0$ , 选取未知参数  $\hat{\mathbf{p}}(0) = [0 \ 0 \ 0.175]^T$ . 图 4—7 给出了数值仿真结果. 由图 4 可知, 随着时间的增加, 误差  $e$  将会趋于零, 这表明将状态控制到其平衡点  $E_1$ . 由图 5 和图 6 可知, 随着时间的演化, 参数  $\alpha$  趋于其真实值 0.175, 而参数  $\epsilon_i$  逐渐减小, 最终趋于常数. 由图 7 可知随着时间的增加, 控制输入  $\mathbf{u}$  逐渐趋于零, 这表明系统 (5) 式的混沌动力学特性不会被改变.

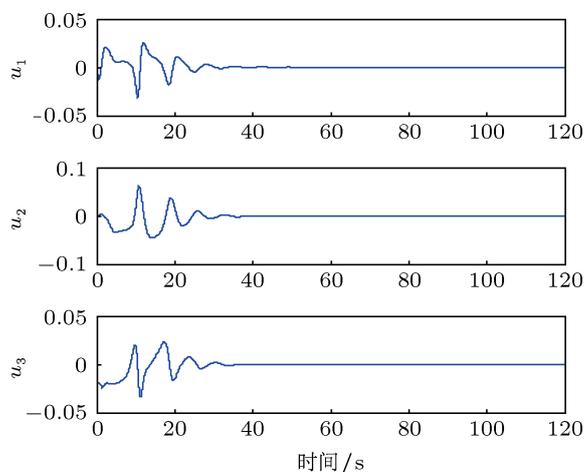


图7 控制输入  $\mathbf{u}$  的时间历程图

## 5 结论

研究了以描述刚体航天器姿态运动的非线性动力学系统, 发现了当扰动力矩中参数矩阵为常数矩阵和随航天器角速度变化两种情况下, 欧拉方程描述了一大类混沌系统. 针对该类系统, 设计了自适应控制律, 该方法能够将系统状态变量控制于任意指定平衡点, 同时能够实现未知参数的实时估计. 最后以 Newton-Leipnik 系统为例, 进行了数值仿真, 仿真结果表明在该控制器的作用下, 系统的状态变量趋于其平衡点, 未知参数趋于其真实值, 说明了该方法的有效性.

[1] Ott E, Grebogi C, Yorke J A 1999 *Phys. Rev. Lett.* **64** 1179  
 [2] Sun J T 2004 *Math. Comput. Simulat.* **64** 669  
 [3] Yu H J, Liu Y Z, Peng J H 2004 *Phys. Rev. E* **69** 066203

[4] Hwang C, Chow H, Wang Y 1996 *Physica D* **92** 65  
 [5] Peng C C, Chen C L 2008 *Chaos, Solitons and Fractals* **37** 598  
 [6] Leipnik R B, Newton T A 1981 *Phys. Lett. A* **86** 63

- [7] Zhou F Q, Kong L Y 2007 *J. Astronaut.* **28** 1515 (in Chinese) [周凤岐, 孔令云 2007 宇航学报 **28** 1515]  
群, 刘延柱 1998 力学学报 **30** 363]  
[8] Chen L Q, Liu Y Z 1998 *Acta Mech. Sin.* **30** 363 (in Chinese) [陈立  
[9] Zhou F Q, Kong L Y 2007 *Acta Aeronaut. Astronaut. Sin.* **28** 1443 (in Chinese) [周凤岐, 孔令云 2007 航空学报 **28** 1443]

# Chaos control with unknown parameter of attitude motion of perturbed spacecraft

Jia Fei-Lei<sup>1)2)†</sup> Xu Wei<sup>3)</sup> Li Heng-Nian<sup>1)</sup> Hou Li-Qiang<sup>1)</sup>

1) (State Key Laboratory of Astronautic Dynamics, Xi'an 710043, China)

2) (Xi'an Satellite Control Center, Xi'an 710043, China)

3) (Northwestern Polytechnical University, School of Science, Xi'an 710072, China)

(Received 21 October 2012; revised manuscript received 11 January 2013)

## Abstract

The Euler's dynamical equation which describes the attitude motion of a perturbed rigid spacecraft is studied. A series of chaos systems is found from Euler's dynamical equation by selecting different parameter matrixes of perturbed torque. Based on the Lyapunov function, adaptive controller is designed such that the chaos control of unknown parameters of this system is accomplished, the state variables go to any appointed equilibrium points, and the unknown parameters are estimated simultaneously. Finally, the Newton-Leipnik system as an example is considered here to demonstrate the proposing technique. Simulation results show the feasibility and efficiency of this method.

**Keywords:** attitude motion, chaos control, unknown parameter, Newton-Leipnik system

**PACS:** 05.45.Gg

**DOI:** 10.7498/aps.62.100503

† Corresponding author. E-mail: feileijia@mail.nwpu.edu.cn