

对线性系统状态转移矩阵的讨论

Discussion on State Transition Matrix of Linear Systems

张正强 张立华 王化建

(曲阜师范大学电气信息与自动化学院,山东 日照 276826)

摘要: 状态转移矩阵是现代控制理论的重要概念,在线性控制系统的运动分析中起着重要的作用。分别对连续时间线性时变系统、离散时间线性定常系统以及离散时间线性时变系统的状态转移矩阵进行了研究。根据常微分方程和差分方程解的唯一性,得到了判断矩阵函数是某一线性系统状态转移矩阵的充分条件,并求出了其对应的系统矩阵。实践证明结论的正确性。

关键词: 现代控制理论 线性时变系统 状态转移矩阵 离散时间 常微分

中图分类号: TP273

文献标志码: A

Abstract: The state transition matrix is an important concept in modern control theory, and it plays a critical role in motion analysis for linear control systems. The state transition matrixes of continuous time linear time varying system, discrete time linear constant system, and discrete time linear time varying system are studied respectively. By using the uniqueness of solutions of ordinary differential equation and difference equation, sufficient condition for judging a matrix function to become the state transition matrix of certain linear system is obtained; and corresponding system matrixes are resolved. The practice proves that the conclusion is correct.

Keywords: Modern control theory Linear time varying system State transition matrix Discrete time Ordinary differential

0 引言

状态转移矩阵是现代控制理论的重要概念,在线性控制系统的运动分析中起着重要的作用。文献[1-8]对线性系统的状态转移矩阵(包括连续时间线性定常系统、连续时间线性时变系统、离散时间线性定常系统、离散时间线性时变系统)进行了详细而深入的介绍。值得指出的是,以往的文献都是在系统矩阵已知的前提下,讨论状态转移矩阵的性质、求解。然而,给定一个矩阵函数,如何判断它是某一线性系统的状态转移矩阵,如果是状态转移矩阵,如何求取其对应的系统矩阵,这是我们必须解决的问题。

通常情况下,判断矩阵函数是某一连续时间线性时不变系统的状态转移矩阵的充要条件会在之前的工作中给出。

本文对连续时间线性时变系统、离散时间线性定常系统、离散时间线性时变系统的状态转移矩阵进行了进一步的研究。根据常微分方程和差分方程解的唯一性,得到了判断矩阵函数是某一线性系统状态转移矩阵的充分条件,并求出了其对应的系统矩阵。

1 预备知识

考虑连续时间线性时变系统、离散时间线性定常系统和时变系统,它们的齐次状态方程分别为:

$$\dot{x} = A(t)x \quad x(t_0) = x_0 \quad t \geq t_0 \quad (1)$$

$$x(k+1) = Gx(k)$$

$$x(k_0) = x_0 \quad (k = k_0, k_0 + 1, k_0 + 2, \dots) \quad (2)$$

$$x(k+1) = G(k)x(k)$$

$$x(k_0) = x_0 \quad (k = k_0, k_0 + 1, k_0 + 2, \dots) \quad (3)$$

式中: x 为 n 维状态; $A(t)$ 、 G 、 $G(k)$ 为 $n \times n$ 系统矩阵。

系统(1)~(3)的解分别为^[1-5]:

$$x(t) = \Phi(t, t_0)x_0$$

$$x(k) = \Phi(k - k_0)x_0 = G^{k-k_0}x_0$$

$$x(k) = \Phi(k, k_0)x_0$$

式中: $\Phi(t, t_0)$ 、 $\Phi(k - k_0)$ 、 $\Phi(k, k_0)$ 分别为系统(1)~(3)的状态转移矩阵。对于离散定常系统, $\Phi(k - k_0)$ 与初始时刻无关,一般地,取 $k_0 = 0$,则 $\Phi(k - k_0)$ 变为 $\Phi(k)$ 。

为了给出判断矩阵函数是某一线性系统状态转移矩阵的充分条件,需要用到下面的引理。

引理1 状态转移矩阵 $\Phi(t, t_0)$ 是下列矩阵微分方程初值问题的解,且解是唯一的^[2-5]:

$$\dot{\Phi}(t, t_0) = A(t)\Phi(t, t_0) \quad \Phi(t_0, t_0) = I \quad t \geq t_0 \quad (4)$$

引理2 状态转移矩阵 $\Phi(k)$ 是下列矩阵差分方程初值问题的解^[2-5]:

曲阜师范大学科研基金资助项目(编号:XJ0626)。

修改稿收到日期:2008-12-09。

第一作者张正强,男,1978年生,2003年毕业于曲阜师范大学自动化研究所,获硕士学位;主要从事非线性系统控制方面的研究。

$$\Phi(k+1) = G\Phi(k) \quad \Phi(0) = I \quad k \geq 0 \quad (5)$$

引理3 状态转移矩阵 $\Phi(k, k_0)$ 是下列矩阵差分方程初值问题的解^[2-5]:

$$\Phi(k+1, k_0) = G(k)\Phi(k, k_0) \quad \Phi(k_0, k_0) = I \quad k \geq k_0 \quad (6)$$

2 状态转移矩阵的判定

2.1 判定结果

定理1 任意 n 阶关于 t, t_0 的矩阵函数 $\Psi(t, t_0)$, 若对任意 $t \geq t_0$, $\Psi(t, t_0)$ 关于 t 可导, $\Psi(t, t_0)$ 是可逆矩阵, $\Psi(t_0, t_0) = I$, 并且 $[\Psi(t, t_0)]$ 只与 t 有关, 则 $\Psi(t, t_0)$ 是某一连续时间线性时变系统的状态转移矩阵, 且与之对应的系统矩阵为 $[\Psi(t, t_0)]\Psi^{-1}(t, t_0)$, t_0 为系统的初始时刻 (这里对 t 的导数是指二元函数 $\Psi(t, t_0)$ 对 t 的偏导数)。

令 $A(t) = [\Psi(t, t_0)]\Psi^{-1}(t, t_0)$, 由定理条件知 $A(t)$ 是关于 t 的矩阵, 与 t_0 无关, 即:

$$\dot{\Psi}(t, t_0) = A(t)\Psi(t, t_0) \quad \Psi(t_0, t_0) = I \quad (7)$$

根据式(4)、式(7), 由引理1得 $\Psi(t, t_0) = \Phi(t, t_0)$, 故 $\Psi(t, t_0)$ 是某一连续时间线性时变系统的状态转移矩阵, $A(t)$ 是与之对应的系统矩阵。

定理2 任意 n 阶关于 k 的矩阵函数 $\Psi(k)$, 若对任意 $k \geq 0$, $\Psi(k)$ 可逆, $\Psi(0) = I$, 并且 $\Psi(k+1)\Psi^{-1}(k)$ 是常数矩阵, 则 $\Psi(k)$ 是某一离散时间线性定常系统的状态转移矩阵, 且与之对应的系统矩阵为 $\Psi(k+1)\Psi^{-1}(k)$ 。

令 $G = \Psi(k+1)\Psi^{-1}(k)$, 由定理条件知 G 是常数矩阵, 即:

$$\Psi(k+1) = G\Psi(k) \quad \Psi(0) = I \quad (8)$$

与连续时间线性时不变系统的情况类似, 注意到状态转移矩阵 $\Phi(k)$ 即矩阵方程(5)的解是唯一的, 故 $\Psi(k)$ 是某一离散时间线性时不变系统的状态转移矩阵, G 是与之对应的系统矩阵。

定理3 任意 n 阶关于 k, k_0 的矩阵函数 $\Psi(k, k_0)$, 若对任意 $k \geq k_0$, $\Psi(k, k_0)$ 可逆, $[\Psi(k+1, k_0)] \times \Psi^{-1}(k, k_0)$ 只与 k 有关, 并且 $\Psi(k_0, k_0) = I$, 则 $\Psi(k, k_0)$ 是某一离散时间线性时变系统的状态转移矩阵, 且与之对应的系统矩阵为 $[\Psi(k+1, k_0)]\Psi^{-1}(k, k_0)$, k_0 为系统的初始时刻。

令 $G(k) = [\Psi(k+1, k_0)]\Psi^{-1}(k, k_0)$, 由定理条件可知 $G(k)$ 是关于 k 的矩阵, 与 k_0 无关, 即:

$$\Psi(k+1, k_0) = G(k)\Psi(k, k_0) \quad \Psi(k_0, k_0) = I \quad (9)$$

2.2 讨论

定理1~3给出了判定矩阵函数是某一线性系统状态转移矩阵的充分条件, 也给出了计算其对应的系

统矩阵的公式。由状态转移矩阵的性质可知^[1-5], 对连续系统, 定理1的条件也是必要的; 但对于离散系统, 由于状态转移矩阵不能保证必为非奇异^[2], 所以定理2和定理3的条件不是必要的。但对于连续时间线性系统的时间离散化系统, 无论其为时不变或时变系统, 状态转移矩阵必为非奇异^[2], 此时定理2和定理3的条件是充分必要的。

定理1~3给出的条件是非常容易验证的, 可使用比较流行的 Matlab 工具进行验证, 因而这些充分条件是有效的。

2.3 举例

例1 判断下列矩阵 $\Psi(t, t_0)$ 是否是某一连续时间线性时变系统的状态转移矩阵, 如果是, 求与之对应的系统矩阵 $A(t)$ 。

$$\Psi(t, t_0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0.5t^2 - 0.5t_0^2 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\Psi(t, t_0) = \begin{bmatrix} t - t_0 + 1 & 0 \\ 0.5t^2 - 0.5t_0^2 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

式(10)中, 对任意 $t \geq t_0$, $\Psi(t, t_0)$ 对 t 可导、可逆, $\Psi(t_0, t_0) = I$, 且用 Matlab 计算得:

$$[\Psi(t, t_0)]\Psi^{-1}(t, t_0) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ t & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

由定理1可知, 式(10)中的 $\Psi(t, t_0)$ 是状态转移矩阵, 与之对应的系统矩阵即为上式。

式(11)中, 对任意 $t \geq t_0$, $\Psi(t, t_0)$ 对 t 可导、可逆, $\Psi(t_0, t_0) = I$, 但用 Matlab 计算得:

$$[\Psi(t, t_0)]\Psi^{-1}(t, t_0) = \begin{bmatrix} \frac{1}{t-t_0+1} & 0 \\ \frac{t}{t-t_0+1} & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

由于定理1的条件是充分必要的, 故 $\Psi(t, t_0)$ 不是某一连续时间线性时变系统的状态转移矩阵。

例2 判断下列矩阵 $\Psi(k)$ 是否是某一离散时间线性定常系统的状态转移矩阵, 如果是, 求与之对应的系统矩阵 G 。

$$\Psi(k) = \frac{1}{3} \times$$

$$\begin{bmatrix} 4(-0.2)^k - (-0.8)^k & 5(-0.2)^k - 5(-0.8)^k \\ -0.8(-0.2)^k + 0.8(-0.8)^k & -(-0.2)^k + 4(-0.8)^k \end{bmatrix}$$

对任意 $k \geq 0$, $\Psi(k)$ 可逆, $\Psi(0) = I$, 且用 Matlab 计算得:

$$\Psi(k+1)\Psi^{-1}(k) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{4}{25} & -1 \end{bmatrix}$$

(下转第13页)

```

START: MOV SP,#70H
      SETB EX0
      SETB IT0
      SETB EA
      LP: CALL DISPLAY      //主程序调显示
          JMP LP           //主程序循环
INT_0: PUSH ACC           //Out1计数中断子程序
      PUSH PSW
      JB P3.3,IJ1        //测试 Out2转向电平
      CALL DEC_C         //Out2低电平调减法运算
      JMP IJ2
      IJ1: CALL ADD_C     //Out2高电平调加法运算
      IJ2: POP PSW
          POP ACC
          RETI
DISPLAY: .....          //显示子程序(略)
      RET
ADD_C: MOV A,30H        //双BCD加法子程序
      ADD A,#01H
      DA A
      MOV 30H,A
      JNC ADD_R
      MOV A,31H
      ADDC A,#00H
      DA A
      MOV 31H,A
ADD_R: RET
DEC_C: MOV A,30H        //双BCD减法子程序
      ADD A,#99H
      DA A
      MOV 30H,A
      .....

```

```

DEC_R: RET
      END

```

3 结束语

开关型与开关型霍尔电路构成的重叠组合(DOC)模型,能够识别磁体的极性;开关型与锁存型霍尔电路构成的平铺组合(DFC)模型,能够识别转向。基于DOC设计的双霍尔旋转编码器,具有零点和顺序点绝对位置输出的特点,能够实现多点位置取样;基于DFC设计的可逆计数传感器,能够直接输出转向和转数信号。这2种组合模型,仅由2个霍尔元件构成,不用信号处理电路支持,直接输出可用信息,电路简单实用,不仅具有霍尔传感器的优点,还拓展了其应用范围。

参考文献

- [1] 温殿忠,赵晓锋,张振辉. 传感器原理及其应用[M]. 哈尔滨:黑龙江大学出版社,2008:15-60.
- [2] 白韶红. 集成霍尔传感器的发展[J]. 自动化仪表, 2003,24(3): 1-8.
- [3] 匡付华,朱丁才. 霍尔传感器A3144在精确位移测量中的应用[J]. 自动化仪表,2005,26(10):40-41.
- [4] 陆江,王立新. BiCMOS霍尔传感器技术及应用原理[J]. 传感器世界,2008(5):26-30.
- [5] 邱召运,李述香,范应元,等. 霍尔效应传感器的特殊应用[J]. 电子技术,2009(4):9-10.
- [6] 田跃,和文国,李彦林,等. 零脉冲高分辨率磁编码器的研制[J]. 北京科技大学学报:自然科学版,2000,23(3):256-258.
- [7] 郝双辉,刘勇,刘杰,等. 基于查表原理的单向磁极编码器研制[J]. 中国机电工程学报,2006,26(19):166-168.
- [8] 宁学明,姚恩涛. 可判向磁敏电阻转速传感器[J]. 仪表技术与传感器,2005(12):6-8.

(上接第9页)

由定理2可知, $\Psi(k)$ 是状态转移矩阵,与之对应的系统矩阵即为上式。

3 结束语

本文对线性系统的状态转移矩阵进行了进一步的讨论,针对连续时间线性时变系统、离散时间线性定常系统和离散时间线性时变系统,分别给出了函数矩阵是某一线性系统状态转移矩阵的充分条件。这些条件是非常容易验证的,因而是有效的,并通过例子说明了结论的正确性。

参考文献

- [1] 王高雄,周之铭,朱思铭,等. 常微分方程[M]. 2版. 北京:高等

教育出版社,1983.

- [2] 郑大钟. 线性系统理论[M]. 2版. 北京:清华大学出版社,2002.
- [3] 刘豹,唐万生. 现代控制理论[M]. 2版. 北京:机械工业出版社,2005.
- [4] 施颂椒,陈学中,杜秀华. 现代控制理论基础[M]. 北京:高等教育出版社,2007.
- [5] 王孝武. 现代控制理论基础[M]. 2版. 北京:机械工业出版社,2006.
- [6] 白素英. e^A 四种计算方法的比较[J]. 数学的实践与认识,2008,38(2):156-158.
- [7] 徐进. 常系数齐次线性微分方程组基解矩阵的求解[J]. 江汉大学学报:自然科学版,2005,33(4):17-19.
- [8] 黄承绪. 矩阵指数函数的一些性质[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2001,25(2):147-149.

对线性系统状态转移矩阵的讨论

作者: [张正强](#), [张立华](#), [王化建](#), [Zhang Zhengqiang](#), [Zhang Lihua](#), [Wang Huajian](#)
 作者单位: [曲阜师范大学电气信息与自动化学院, 山东, 日照, 276826](#)
 刊名: [自动化仪表](#) ISTIC PKU
 英文刊名: [PROCESS AUTOMATION INSTRUMENTATION](#)
 年, 卷(期): 2009, 30(9)
 引用次数: 0次

参考文献(8条)

1. [王高雄, 周之铭, 朱思铭](#) [常微分方程](#) 1983
2. [郑大钟](#) [线性系统理论](#) 2002
3. [刘豹, 唐万生](#) [现代控制理论](#) 2005
4. [施颂椒, 陈学中, 杜秀华](#) [现代控制理论基础](#) 2007
5. [王孝武](#) [现代控制理论基础](#) 2006
6. [白素英](#) [eAt 四种计算方法的比较](#) 2008(2)
7. [徐进](#) [常系数齐次线性微分方程组基解矩阵的求解](#) 2005(4)
8. [黄承绪](#) [矩阵指数函数的一些性质](#) 2001(2)

相似文献(10条)

1. 学位论文 [邓学辉](#) [复杂系统的脉冲控制研究](#) 2007

现代控制理论对于线性系统的分析和综合由于它的相对可解性, 已经获得了相对完善的理论结果。但是, 对于更接近实际系统的时滞的、含不确定项的、带扰动的线性系统或简单非线性系统的研究并没有完美的结果, 自然成了学者们的研究热点。学者们通过各种控制方法给出的算法乃至基于各种算法的程序, 静态或动态的调整系统模型的参数, 从而使综合后的系统模型趋于优化。其中, 最近提出的脉冲控制方法是一种直观的、易于实现的控制方法。本文对几类时滞线性系统模型或简单的带扰动的、含不确定项的非线性系统模型做了探讨; 对一类混沌系统做了尝试性理论研究。主要概括为以下几方面的研究工作:

1. 分析探讨了一类变系数时滞系统的脉冲镇定问题。获得了可脉冲指数镇定和可周周期性脉冲指数镇定的充分条件, 给出了一类脉冲控制函数的具体表达式以及确定相应参数范围的方法和相应实例分析。
2. 讨论了一类变系数时滞线性系统的脉冲控制问题。采用了一个改进的脉冲时滞线性系统模型。解决了脉冲作用以后的状态向量的单侧连续问题, 突破了传统方法处理此类问题时, 单侧连续的假设模式, 并给出了相应实例分析, 得出了此类线性时变系统可脉冲控制的较一般结论。
3. 分析探讨了一类扰动时滞系统的脉冲控制问题。构造了一种新形式的时滞脉冲系统模型。得出了一类扰动时滞系统的可脉冲控制的弱保守条件, 给出了相应的实例分析。
4. 探讨了一类扰动时滞不确定系统的脉冲控制问题。得到了判定此类不确定系统可脉冲控制的充分条件和求脉冲控制函数的具体方法和表达式, 并给出了相应的实例分析。
5. 探讨了脉冲干扰在复杂混沌系统中的应用问题。文中讨论了一类可以包括Lorenz系统, Lu系统和Chen系统的复杂非线性系统的脉冲控制问题。通过合理构造一种类似针灸刺激的脉冲控制函数, 得出了此类复杂系统可以脉冲控制的结论。做出了Lorenz系统可以脉冲控制的算例仿真, 说明了结论的有效性。

2. 学位论文 [聂琦](#) [INS/GPS组合对准技术研究](#) 2006

INS/GPS组合导航系统中初始对准一般是在动基座条件下进行。动基座初始对准一般采用传递对准的方式进行初始化, 如果充分利用组合系统的信息进行初始对准可以不必使用传递对准, 使组合系统成为全过程自主式的导航系统。论文的主要工作如下: 建立了INS/GPS系统的数学模型, 对INS/GPS组合的开环校正和闭环校正的两种模式下的误差模型进行仿真, 并且与纯惯导比较进行仿真分析。组合系统的初始对准就是要给出惯导解算的初始值, 并对初始误差进行估计和修正。惯导系统的误差模型, 在误差比较小时, 可以看作是一个线性时变系统。根据现代控制理论, 如果系统是不可观的, 就无法估计出初始状态。在动基座对准过程中, 可以应用PWCS可观性分析理论和方法对惯导系统动基座对准时的可观性进行全面分析。对于组合系统的误差模型, 采用速度误差作为观测量, 通过线运动和角运动在一定条件下都能提高系统的可观性。因此, 系统在进行初始对准时, 载体得要做一定的机动。在实现INS的基础上, 研究INS和GPS组合的初始对准方法, 建立组合导航系统的状态方程及速度观测方程, 应用卡尔曼滤波器实现了INS/GPS的组合对准。针对仿真软件的INS/GPS组合系统初始对准的仿真模型, 在不同条件下对组合系统的初始对准仿真模型进行了仿真实验, 并讨论了各自对应的仿真结果。通过对组合系统的初始对准过程进行仿真, 验证卡尔曼滤波器估计姿态误差角的可行性, 对准精度能满足一定的要求。

3. 学位论文 [谭红力](#) [机载武器INS/GPS组合导航系统动基座初始对准方法研究](#) 2002

机载武器采用INS/GPS组合导航方式, 可以成为低成本、高精度的制导武器。一般的机载武器通常采用传递对准的方式对武器上的惯导系统进行初始化。如果充分利用组合系统的信息进行初始对准可以不必使用传递对准, 使组合系统成为全过程自主式的导航系统, 在军事上有很大的应用价值。组合系统的初始对准就是要给出惯导解算的初始值, 并对初始误差进行估计和修正。惯导系统的误差模型, 在误差比较小时, 可以看作是一个线性时变系统。根据现代控制理论, 如果系统是不可观的, 就无法估计出初始的状态。对于惯导系统的误差模型, 如果有速度误差观测, 只有在有水平过载的情况下, 方位角误差的可观测度才比较大。因此在进行初始对准时, 载体要做一定的水平机动。通过对组合系统的初始对准过程进行仿真, 验证了最小二乘估计的可行性, 对准精度可以达到0.2°以下。

4. 学位论文 [韩光信](#) [鲁棒控制及其在三容系统中的应用](#) 2002

该文首先阐述了鲁棒控制的研究意义、发展简史以及鲁棒控制研究的基本问题。由于三容系统是该文鲁棒控制算法的控制对象, 因此该文第三章给出了三容实验设备的物理描述、数学建模、控制问题及相关要求。如果不考虑硬约束, 不确定线性时变系统的鲁棒控制问题已经取得了明确而完美的解(例如 H_∞ 理论和 μ 方法), 然而在大多数的实际应用中, 一个毫无疑问的事实就是系统存在着控制约束和/或输出约束。该文第四章基于LMI方法, 提出了一种分离RMS增益控制方法, 随后给出了理论证明, 最后以三容系统的抗干扰问题为例给出了模型描述和控制系统仿真与分析。但是, 在考虑了约束条件(如控制约束)后, 采用LMI方法得到的控制器往往过分保守而影响控制性能。因此, 为了充分利用系统的约束条件和当前的状态信息, 该文第五章利用预测控制的滚动优化思想和现代控制理论的最新发展, 为约束系统的鲁棒优化控制提出了行之有效的计算机控制方法。最后以三容系统的抗干扰问题为例给出了仿真结果。

5. 学位论文 [戴斌](#) [宏挠性/微刚性机器人操作手振动的神经网络PID控制研究](#) 2000

该论文在吸收国内外先进技术、经验和方法的基础上,进行宏挠性/微刚性操作手系统动力学建模和振动控制研究。挠性操作手的动力学运动方程为一非常复杂的、高度耦合的、非线性时变微分方程,该方程的建立和求解非常困难,而且在实时控制里将耗费大量的计算时间,故该本基于刚性化假设,来减少建立和求解挠性操作手动力学运动方程的难度,挠性操作手的挠性变形引起的误差,通过一激光测量系统测得,并通过操作手控制算法实现补偿。宏挠性/微刚性操作手系统分为两个部分:宏操作手控制块和微操作手控制块。神经网络经过几十年的发展,在机器人控制中已获得了比较广泛的应用。神经网络所具有的任意非线性表示能力,可以通过对系统性能的学习来实现具有最佳组合的PID控制,更适于一些复杂的、耦合的、非线性时变系统的控制。逆动力学控制是机器人控制中最常见的一种控制策略,它是联结古典控制理论和现代控制理论的桥梁。该文宏操作手采用神经网络PID控制算法,通过一个神经网络调整块适当调整PID控制的比例、微分增益参数的大小;微操作手采用逆动力学控制算法,宏操作手的挠性误差变形通过微操作手的快速运动补偿。该控制系统用于宏/微操作手的振动控制,仿真实验结果证明它是有效的,具有比较高的抑振效果。

6. 期刊论文 [王莉, 王庆林, 陈虹, WANG Li, WANG Qing-lin, CHEN Hong 状态空间表达下控制系统的稳态误差 - 火力与指挥控制](#) 2009, 34(6)

经典控制理论对系统稳态误差的讨论从传递函数入手,重点是对系统开环传递函数的研究,当系统的输入是任意函数时,引入动态误差系数方法来研究稳态误差,但是当输入具有高阶导数时,动态误差系数将很难得到。现代控制理论中的状态空间表达下求系统的稳态误差很好地解决了这个问题。利用矩阵之间的运算来表示动态误差系数,并且可以得到任意输入下的稳态误差值,在线性定常系统下的推导结果还可以适用于线性时变系统,具有一定的普遍性。

7. 学位论文 [刘健 发射车控制系统模型参考自适应控制研究](#) 2007

常规反馈控制系统对于系统内部特性的变化和外部扰动的影响都具有一定的抑制能力,但是常规反馈系统不具备自适应能力。因此,当系统内部特性或外部扰动的变化很大时,系统的性能指标不仅不可能保持最优,而且常常要大幅度下降,甚至会引起系统的不稳定。由此可见,对于对象特性或扰动特性变化范围很大,同时又要经常保持高性能指标的一类控制系统采用自适应控制方法是很有有效的。已经成为人们关注的焦点。未来几十年内,推动航天技术的快速发展在我国占有十分重要的地位。航天技术的发展将有力地提升我国相关产业链的技术水平;而在航天技术领域,先进控制技术因其对发射车市场竞争力,提高适应环境能力方面有着不可忽视的影响,这就对某多管火箭发射车的控制系统提出了更高的要求。由于计算机和自动控制技术的不断发展以及现代战争的不断变化,极大地推动着火箭发射车控制系统的迅速发展,从而出现了新的火箭发射车控制系统,已成为满足进行间射击的火箭发射车战战术要求和提高火箭发射车战斗性能的有效手段。本文就自适应控制在某多管火箭发射车控制系统中的地位与作用、所需解决的技术难题以及发展趋势作一阐述。针对某多管火箭发射车控制系统现状,从某多管火箭发射车控制系统的组成及特点出发,在工作点附近的线性化建立数学模型,通过对数学模型的分析研究,结合国内外先进控制理论和技术,提出以模型参考自适应控制方法来研究这种典型的非线性时变系统,基于李雅普诺夫大稳定理论和波波夫超稳定理论设计全局稳定的模型参考自适应系统,利用可调系统增益参数、信号综合自适应、超稳定理论设计方法等建立不同的控制律,并分析研究这几种方法的特点。制定适应于某多管火箭发射车控制系统的控制方法等方面进行研究。针对计算机应用,带来数字化离散过程中出现的非最小相位问题,提出产生的原因,加以改进措施。以提高自研型号某多管火箭发射车的适应能力和市场竞争力并使某多管火箭发射车实现现代化战争的各种复杂条件的需要。本文通过对模型参考自适应控制在火箭发射车控制系统上的研究分析,为火箭发射车控制成功运用现代控制理论,为系统性能的提高奠定基础,而且对提高火箭发射车在多种复杂的战争环境中的发射适应能力,提出一种可行的思路。

8. 学位论文 [冯增健 开闭环PD型迭代学习控制及其收敛性研究](#) 2005

众所周知,非线性时变系统极为难于控制,即使利用现代控制理论也难以设计适当的控制器。但对于重复跟踪相同轨迹的系统,例如机械手的操作,磁盘驱动系统等,迭代学习控制(ILC)是控制这一类系统简单而有效的方法。迭代学习控制针对具有重复运行性质的被控对象,利用对象以前运行的信息,通过迭代的方式修正控制信号,实现在有限时间区间上的完全跟踪任务。正因为其简单而有效,近年来受到不少研究人员的关注,研究内容包括学习律的构成、收敛性、鲁棒性、初值及学习速度等问题。本文着重分析了迭代学习控制的收敛性。文中首先介绍了迭代学习控制的一些基本知识,包括提出的历史,数学描述以及一些常用迭代学习控制律。其次分别讨论了开环、闭环和开闭环迭代学习律的收敛性,并给出各种不同迭代学习律的仿真实例加以对比;作者还特别给出了一类非线性系统的开闭环PD型迭代学习律收敛的充分条件,并使用线性算子理论加以证明。最后讨论了研究中存在的一些问题和发展方向。

9. 学位论文 [杨唐文 挠性宏—微操作手系统模糊动态控制研究](#) 1998

该论文在吸收国内外先进技术、经验和方法的基础上,进行宏挠性/微刚性操作手系统的动力学建模和轨迹跟踪控制研究。挠性操作手的动力学运动方程为一非常复杂的、高度耦合的、非线性时变微分方程,该方程的建立和求解非常困难,而且在实时控制里将耗费大量的计算时间,故该文基于刚性化假设,来减少建立和求解挠性操作手动力学运动方程的难度,挠性操作手的挠性变形引起的误差,通过一激光测量系统测得,并通过操作手控制算法实现补偿。宏/微操作手控制系统分为两上部分:宏操作手控制块和微操作手控制块。模糊控制逻辑经过几十年的发展,在机器人控制中已获得了比较广泛的应用。模糊逻辑由于具有专家智能,减少了对控制对象数学模型的依赖性,更适于一些复杂的、耦合的、非线性时变系统的控制。逆动力学控制是机器人控制中最常见的一种控制策略,它是联结古典控制理论和现代控制理论的桥梁。该文宏操作手采用模糊PD控制算法,通过一模糊调整块适当调整PD控制的比例、微分增益参数的大小;微操作手采用逆动力学控制算法,宏操作手的挠性误差变形通过微操作手的快速运动补偿。该控制系统用于宏/微操作手的轨迹跟踪控制,仿真实验结果证明它是有效的,具有比较高的轨迹跟踪精度。

10. 学位论文 [王敏 两连杆机械臂迭代学习控制的设计与仿真研究](#) 2008

非线性系统的控制问题一直是控制领域中的热点以及难点问题。众所周知,非线性时变系统极为难于控制,即使利用现代控制理论也难以设计适当的控制器。但对于具有重复运动性质的系统,如机械臂的操作,迭代学习控制(ILC)是解决这一类系统简单而有效的方法,它能提高被控对象的运动轨迹在有限时间区间上沿整个期望轨迹的跟踪精度。本文针对两连杆机械臂这一非线性模型,分别对D型、P型和A型三种不同的迭代学习控制方法设计学习律,通过对各自学习律收敛条件的分析,选择合适的学习增益,完成控制器的设计。并在此基础上,对三种学习控制算法的收敛性和对应学习律下系统的鲁棒性进行了仿真分析。旨在研究三种不同迭代学习控制算法的性能及其在两连杆机械臂系统中的应用。从仿真结果中可以看出,D型迭代学习控制和A型数据采样迭代学习控制很好的满足了收敛性和跟踪精度的要求,且收敛速度较快,在存在初始偏差、动态扰动和输出测量噪声的情况下,也具有较好的鲁棒性,进而验证了其算法的有效性。与这两种迭代学习控制相比,P型迭代学习控制的收敛条件更加严苛,收敛性和鲁棒性较差,而且收敛速度比以上两种控制方法要慢得多。考虑到两连杆机械臂的实际执行过程,D型迭代学习控制并不能达到仿真结果中的效果。原因在于,从学习律的构成来看,D型学习律利用的是前一次输出误差信号的导数信号来构造学习律,因此很容易引入噪声,从而降低其有效性;而P型和A型迭代学习控制在学习律的构造上不存在求导的问题,能有效抑制噪声。但A型迭代学习控制的性能比D型和P型学习控制要好得多,因为它兼备了D型学习控制的超前特性和P型学习控制易于执行的特性。

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_zdhyb200909003.aspx

下载时间: 2010年3月15日