cyzhan 已关注
IP 属地：广东省
12 643小时14天 2分钟
原创 周榜名次 总榜 等级
507 150 55 51 318
积分 粉丝 获赞 评论 收藏
私信 已关注

搜索文章

热门文章

AutoSAR MPC DSSP Solver ⊙ 7697
Apollo模型参考自适应控制MRAC (二)-MRAC数学推导 ⊙ 4454
Apollo模型参考自适应控制MRAC (二)-MRAC例题 ⊙ 4454
Apollo模型参考自适应控制MRAC (二)-MRAC例题 ⊙ 3434
模型预测控制Apollo Falcone博士版讲记 (二)-MPC实现和调优 ⊙ 3034
Hybrid A* 算法基本流程 ⊙ 2960

分类专栏

控制算法 4篇
博士课记 7篇
嵌入式 1篇
C++ 1篇

最新评论

AutoSAR MPC DSSP Solver
Newton_Zhu 大师，debug模式怎么开呀？
mylinux 求源代码
Gaussian_Zhu 你能给我发送下载链接吗？不知道怎么样中毒了呢
zhangxiaoxiao 求源代码
AutoSAR MPC DSSP Solver
最新知乐趣的，近千篇二次规划求解器的相关研究内容，[...
Apollo MPC DSSP Solver
相较YY 相差很远，我想问一下 百度个 osqp的代码中，为什么...

您觉得此篇推荐“博客评值”吗？
满意 一般 不满意 一般 满意 非常满意

最新文章
直线车道跟踪动力学分析 (Lane Keeping)
MPC自行车模型
线性模型预测器二次规划 (Quadratic Programming)的不同构造形式

2020年 1篇 2019年 1篇

python语言简单学习-cyzhan的博客-面向对象学习笔记
编辑器安装
打开

目录

Tutorial 1
Tutorial 2
Tutorial 3

Apollo模型参考自适应控制MRAC (二)-MRAC例题

cyzhan 2020-05-19 13:29:30 ⊙ 3430 原创 版权
分类专栏：控制算法 博士课记

版权声明：本文为博主原创文章，遵循 CC 4.0 BY-SA 版权协议，转载请附上原文出处链接和本声明。

To begin with the generic adaptive control (GAC) for the Model Reference Adaptive Control(MRAC), assume ξ_p is the plant, the goal is to find a control law, such that the closed-loop system tracks the reference model ξ_m with the error e_1 tending to zero. Let ξ_m be the output of the reference model, $\xi_m = \frac{k_m}{D_m(s)} r$, where $D_m(s)$ is a stable polynomial, k_m is the feedforward gain, r is the reference input. Let $\xi_p = \frac{k_p Z_p(s)}{R_p(s)} u$, where $Z_p(s)$ is a stable polynomial, $R_p(s)$ is a monic polynomial, k_p is the high frequency gain, u is the control input. Let $e_1 = \xi_p - \xi_m$ be the error.

Tutorial 2

Adaptive Control Derivation using Lyapunov Theory

第一个例子是针对一个一阶系统的，假设一阶系统的参考模型为

$$\dot{x}_p = a_p x_p + b_p u \tag{1}$$

其中a_p, b_p是已知常量。入 x_p 信号我们可知道其结果。

a) 通过Lyapunov函数的方法设计一个自适应控制器，使得上述一阶系统可以跟参考模型的输出x_m 参考模型的方程为

$$\dot{x}_m = a_m x_m + b_m r \tag{2}$$

其中$a_m < 0$, r是参考输入。

b) 于第2问中所设计的控制器，使得闭环使用系外再个输出x_p和x_m的误差收敛到零(asymptotic convergence)。

提示：为了保证闭环系统的稳定性和收敛速度参数等等要是有界的，我们就要看当控制的结果$u = x_p$ 我们希望通过选择$k_m = x_p$ 结合方程(2)

我们可以得出

$$\dot{x}_m = \frac{a_m}{b_m} x_m + \frac{b_m}{b_m} u \tag{3}$$

当我们对系统序列第上述输入时则，

$$\dot{x}_p = a_p x_p + b_p u = \frac{a_m}{b_m} x_m + \frac{b_m}{b_m} u \tag{4}$$

$$= a_m x_p + b_m u \tag{5}$$

加入5条和，则可以得出方程如下式，这里将最我们需要做到如使设计的思想模自适应变化率参数，根设我们使用的自适应输入为

$$u = \theta_1 x_p + \theta_2 r \tag{7}$$

为了建立参数调整机制，我们需要用到合理的Lyapunov函数

为了建立参数调整机制，我们需要用到合理的Lyapunov函数

$$V(x, \theta_1, \theta_2) = x^2 + \frac{1}{\gamma_1}(\theta_1 - \theta_1^*)^2 + \frac{1}{\gamma_2}(\theta_2 - \theta_2^*)^2$$

该函数是正定的，$V(x, \theta_1, \theta_2) > 0$

为了保证这Lyapunov函数是负半定的，我们取其对上述时间求导

$$\dot{V}(x, \theta_1, \theta_2) = 2x\dot{x} + \frac{2}{\gamma_1}(\theta_1 - \theta_1^*)\dot{\theta}_1 + \frac{2}{\gamma_2}(\theta_2 - \theta_2^*)\dot{\theta}_2$$

我们选取如下参数

$$\dot{\theta}_1 = -\gamma x^2 (\theta_1 - \theta_1^*)$$
$$\dot{\theta}_2 = -\gamma x^2 (\theta_2 - \theta_2^*)$$

此时下面各半定的，$\dot{V} \le 0$

b) 为了能够保证参考模型的稳定性，我们要引入两个变量γ_1和γ_2，我们要保证这一个正定的Lyapunov函数可以写出下面式：

$$V = x^2 + \frac{b_p \gamma_1}{2\gamma_2} \theta_1^2 + \frac{b_p \gamma_1}{2\gamma_2} \theta_2^2$$

对上述Lyapunov函数求导数

$$\dot{V} = 2a_m x^2 + \frac{2b_p \gamma_1}{2\gamma_2} \theta_1 x_p + \frac{b_p \gamma_1}{2\gamma_2} \theta_2 r + \frac{b_p \gamma_1}{2\gamma_2} \theta_1 \dot{\theta}_1 + \frac{b_p \gamma_1}{2\gamma_2} \theta_2 \dot{\theta}_2$$

为了使$\dot{V}$负半定，我们选取下述参数变化率

$$\dot{\theta}_1 = -\gamma_1 x_p (x_p \theta_1 + r_p \theta_2)$$
$$\dot{\theta}_2 = -\gamma_1 x_p (x_p \theta_1 + r_p \theta_2)$$

Tutorial 2

Lyapunov for State Space Systems

考虑自动控系统

$$\dot{x}_1 = x_2$$
$$\dot{x}_2 = a\dot{x}_1 + bx_2 + u$$
$$y = x_1$$

其中状态变量x_1 x_2 和 y是实数，a 和 b 是常数，$b \in \mathbb{R}$ 并

a) 假设参数a和b已知，设计状态变换控制器$u(x_1, x_2)$使得上述系统的表现出下述参考模型方程：

$$y = G_m(s) y_{ref}$$
$$G_m(s) = \frac{\omega^2}{s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2}$$

b) 基于前述问题，现不设计自适应控制器，a和b参数未知的情况下自适应系统表现出下述参考模型方程：

$$\dot{x}_m = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega^2 & -2\zeta\omega \end{bmatrix} x_m + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega^2 \end{bmatrix} r$$

输入设置为

$$u = -a\dot{x}_1^2 - bx_2^2 - \omega^2 x_1 - 2\zeta\omega x_2 + \omega^2 u_{ref}$$

当对系统采取上述输入时的情

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ -a\dot{x}_1^2 - bx_2^2 - \omega^2 x_1 - 2\zeta\omega x_2 + \omega^2 u_{ref} \end{bmatrix}$$

如果参数a和b未知，我们需要使用自适应控制器，我们需要用上述参数的情况，因此我们的控制器为

$$u = -\hat{a}\dot{x}_1^2 - \hat{b}x_2^2 - \omega^2 x_1 - 2\zeta\omega x_2 + \omega^2 u_{ref}$$

我们可以写成模型

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ -\hat{a}\dot{x}_1^2 - \hat{b}x_2^2 - \omega^2 x_1 - 2\zeta\omega x_2 + \omega^2 u_{ref} \end{bmatrix}$$

其中$\hat{a} = a - \tilde{a}$, $\hat{b} = b - \tilde{b}$ 定义误差状态变量为$e = [e_1 \ e_2]^T = x - x_m$.

我们得到下的误差方程

$$\dot{e} = \begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_2 \\ -\hat{a}\dot{x}_1^2 - \hat{b}x_2^2 - 2\zeta\omega e_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega^2 & -2\zeta\omega \end{bmatrix} e + \begin{bmatrix} 0 \\ \tilde{a}\dot{x}_1^2 + \tilde{b}x_2^2 \end{bmatrix}$$

我们令$A_m = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega^2 & -2\zeta\omega \end{bmatrix}$ $\theta = \begin{bmatrix} \tilde{a} \\ \tilde{b} \end{bmatrix}$ $\phi = \begin{bmatrix} \dot{x}_1^2 \\ x_2^2 \end{bmatrix}$

我们选取Lyapunov函数$V(x, \theta) = x^T P x + \theta^T \Lambda^{-1} \theta$ 其中P是Lyapunov方程正定的对称矩阵

$$V(x, \theta) = x^T P x + \theta^T \Lambda^{-1} \theta$$
$$= x^T P x \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega^2 & -2\zeta\omega \end{bmatrix} e + \begin{bmatrix} 0 \\ \tilde{a}\dot{x}_1^2 + \tilde{b}x_2^2 \end{bmatrix}$$
$$= (e^T \begin{bmatrix} 0 & -\omega^2 \\ 1 & -2\zeta\omega \end{bmatrix} P e + \begin{bmatrix} 0 \\ \tilde{a}\dot{x}_1^2 + \tilde{b}x_2^2 \end{bmatrix}) \theta$$
$$= (e^T \begin{bmatrix} 0 & -\omega^2 \\ 1 & -2\zeta\omega \end{bmatrix} P e + \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{x}_1^2 \\ x_2^2 \end{bmatrix}) \theta$$

其中Q是正定矩阵，$PA_m + A_m^T P = -Q$ 参数定义变为

$$\dot{\theta} = -\begin{bmatrix} \dot{x}_1^2 \\ x_2^2 \end{bmatrix} [0 \ \ 1] \ Pe$$

因为$V(x, \theta) > 0$, 并且$\dot{V}(x, \theta) \le 0$, 系统是稳定的

Tutorial 3

Choice of Adaptive Control Law

系统模型如下所示，我们要通过参数自和反的变化率使得输出y跟踪变化的

a) 根据上述模型画出参考模型和系统模型的图示方程

b) 根之上图设计方程转为状态空间方程，使总参考模型及系统转换A_m和A_p和系统输入B_p和B_m

c) 求出闭环的特征方程，并求得参数$A_{cl}^* = P A_{cl} - \cdots - Q A_{cl} - \cdots$

d) 选择合适的Lyapunov函数和导数，并求出参数自和反的自适应变化率使得误差e_1可以渐增至0。

上述问题Apollo中系统的模型参考模型的相应公式的，参考系统的输入和系统的最小二乘系统，其第二节的总参数一个状态的变化率，这一点和Apollo的MRAC的推导

a) 参考系统的微分方程为

$$\dot{y}_m + 6y_m + y_m = r$$

实际系统的微分方程为

$$\dot{y}_p + (-1 - k_1)y_p + (-k_2)y_p = r$$

参数的微分方程为 $\dot{\alpha} = r + k_1 y_p + k_2 y_p$

b) 系统的状态方程可以重组如图方程中得出

参考模型：

$$\dot{x}_m = A_m x_m + Br$$

其中模型的状态量$x_m = \begin{bmatrix} y_m \\ \dot{y}_m \end{bmatrix}$ 参考模型的系统矩阵 $A_m = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -7 \end{bmatrix}$ $B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$

c) 根据模型的状态空间表示，我们可以得出

$\dot{y}_p + (-1 - k_1)y_p + (-k_2)y_p = r$, $\alpha = r + k_1 y_p + k_2 y_p$

$\dot{y}_p = \alpha - k_1 y_p - k_2 y_p$, $\dot{\alpha} = \dot{r} + k_1 \dot{y}_p + k_2 \dot{y}_p$

$\dot{y}_p = \alpha - k_1 y_p - k_2 y_p$, $\dot{\alpha} = \dot{r} + k_1 \dot{y}_p + k_2 \dot{y}_p$

$\dot{y}_p = \dot{\alpha} + r$

d) 求出闭环的总状态方程

$$\dot{x}_p = A_p x_p + bu$$

其中$x_p = \begin{bmatrix} y_p \\ \dot{y}_p \end{bmatrix}$ $A_p = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -k_1 & -k_2 \end{bmatrix}$ $b = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$

e) 根可得最终总系统矩阵

$$\dot{x} = A_{cl} x + b\alpha + br$$
$$A = A_{cl} x + b\theta^T x_p \qquad A_{cl} x_{cl} = A_{cl} x + b\theta^T x_p$$

根据已知条件(matching condition) $A_{cl} = A_p + b\theta^T$, 我们可以得出下面参数等式

$$\theta^T = [-1 \ \ -2]$$

因为参数是动态变化的，根设设计参数时，我们可以写出

$$\dot{x}_p = A_p x + b\theta^T x_p + br$$
$$\dot{x} = A_{cl} x + b\theta^T x_p + br \qquad A_{cl} x_{cl} = A_{cl} x + b\theta^T x_p$$

根设闭为参数设置$\dot{x} = \dot{\theta} - \theta^T - \dot{\theta} x_p$ $\dot{\theta}^T$

$$\dot{x} = A_{cl} x + b\theta^T x_p + br$$
$$\dot{x} = A_{cl} x + b\theta^T x_p + br \qquad A_{cl} x_{cl} = A_{cl} x + b\theta^T x_p$$

我们选取Lyapunov函数 $V(x, \theta) = x^T P x + \tilde{\theta}^T \Lambda$

求导数：

$$\dot{V} = x^T P \dot{x}_{cl} + \dot{x}^T P x_{cl} + (x_p^T \dot{\theta}^T + x_p^T \dot{x}_{cl}^T) P + 2\tilde{\theta}^T \dot{\theta}$$

$$x^T P A_{cl}^T x_{cl} + x_{cl}^T P x + \tilde{\theta}^T x_p^T P b_p$$ 选取自适应变化率为 $\dot{\theta} = -x_p^T P b_p$ 可以得到：

$$\dot{V} = x^T (P A_{cl} + A_{cl}^T P) x + 2\tilde{\theta}^T (x_p^T P b_p + \dot{\theta})$$
$$= x^T Q x \le 0$$

最终我们的自适应变化率为

$$\dot{\theta} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} = -x_p P^T b_p = -\begin{bmatrix} b_p \\ b_p \end{bmatrix} \quad r_2 \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\dot{\theta}_1 = -\frac{r(1 + 2r)}{2} y_p$$
$$\dot{\theta}_2 = -\frac{r(1 + 2r)}{2} y_p$$

MRAC设计方法 10-20
MRAC设计原理，控制器的设计，基于稳定
MRAC-with-Uncertainty-master_基于参考自适应mrac_源码 10-01
模型参考自适应 simulink仿真，模型参考自适应 的原理 可以自己画出结果。

评论 6
请发表有价值的评论，禁止灌水和广告信息。文明评论，理性发言。 评论

这个天才呢 2天前
你好，Tutorial 1中自适应的变量参数中的符号是怎么确定的？Tutorial 3中AS2是自定义的，为什么需要自定义变化率？
回复 1条 ⊙

Welcoteshayvel 2天前
你好，文中的，我们选取Q=2x，然后求解下方的Lyapunov方程 与题干一致 的参数 所对应的下方是，从原理模式Ov=Mov+GMvT+Fmv+Q, Q=2x1 是怎么来的呢？ 可以直接写出 ov 中的参数 ＝ TmvMvmv+GMvT+Fmv+Q, Q=2x1 是怎样的？谢谢
回复 1条 ⊙

weibin_43437779 2天前
你好，有没有MATLAB的仿真程序，谢谢
回复 1条 ⊙

Control-模型参考自适应控制MRAC(_mp0016的博客 11-10
简介本 博客是将之前写的关于自适应控制模型参考自适应控制的记录最新，整理整理并修改完整笔记。
...同步电机孤岛模型参考自适应控制 11-20
本文是对第一种改进型自适应控制模型参考自适应控制的一种改进。 ...模型参考自适应 MRAS 速度辨识 ...
LQG自适应控制-理论基础 mrhaibao的博客 ⊙ 175+
1 设自适应系统 1.1设计自适应控制的方法一种快速最佳参考自适应控制，讲解实现方法 ...
基于模型参考自适应控制的MRAC 2019-04-12
本文是自己在MATLAB官网上学习MATLAB的笔记，主要是对MRAC(Model Reference Adaptive...
机器人动力学与控制学习笔记（7）——模型参考自适应控制（模型） 决与大的参数的影响 ⊙ 6980
...模型参考自适应 模型参考自适应控制 模型参考自适应控制的一个工 ...模型参考自适应控制
模型参考自适应控制 turkyoooooooo的博客 ⊙ 2547
模型参考自适应控制 考虑一定地位或性能，通过模型参考自适应控制的方法进行参考的调整。
Apollo模型参考自适应控制MRAC (四)-MRAC数学推导 weixin_42124339的博客 ⊙ 4751
Apollo模块化版本用到的模型参考的 high level controller，我打算以计算模型的过程中一直跟着做。
自适应控制——模型参考自适应控制（一）基于梯度参数... 不断增加 ksp1120的博客 ⊙ 17+
模型参考自适应控制 ...模型参考自适应控制 ...
模型参考自适应MATLAB的表格 04-12
模型参考自适应控制MATLAB的表格，可以调整参数 ...
模型参考自适应控制simulink仿真 11-06
模型参考自适应控制simulink仿真，写论文的时候自己的原创基础的仿真，但参考的书是200...
论文研究-基于DDPG算法的模型参考自适应控制 11-20
基于PID和MRAC的电动汽车电机控制研究，滤波，采集字，低能源电机转矩与自适应PI参...
模型参考自适应控制 11-10
基于Simulink的模型参考自适应控制 高图，可以用它来进行自适应模型的调解
模型参考自适应控制 ...模型参考自适应控制 ...
模型参考自适应控制 ...模型参考自适应控制 ...
模型参考自适应控制（一）-MRAS辨识 ⊙ 8976
模型参考自适应控制，自适应控制，自适应控制，模型参考自适应控制 ...