

一类切换收敛计算的 Matlab 实现

祝庚^{1,2}, 熊金志²

(1. 华南理工大学 自动化科学与工程学院, 广州 510640; 2. 东莞理工学院 计算机学院, 广东 东莞 523808)

(zhugeng@dgut.edu.cn)

摘要:传统的控制系统稳定需要满足 Lyapunov 二次型稳定、指数或渐近稳定等强条件,而切换控制及凸组合只需系统具有收敛子空间等弱条件,并能解决不稳定子系统的切换收敛问题。分析了扰动切换系统的收敛性,设计了状态反馈切换、修正阈值切换及状态延时3类切换控制率及其对应切换算法。借助状态观测器对可观切换系统进行了状态估计和误差分析。利用 Matlab 实例仿真程序仿真并寻找优化参数,实现了上述3类切换算法。通过对比切换实验数据,演示了不同切换率稳定和收敛状况。

关键词:切换控制;切换率;收敛性;凸组合;估计器

中图分类号: TP273.5 **文献标志码:** A

Realization of a switched convergent computation with Matlab

ZHU Geng^{1,2}, XIONG Jin-zhi²

(1. College of Automation Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510640, China;

2. Computer College, Dongguan University of Technology, Dongguan Guangdong 523808, China)

Abstract: The traditional stable control systems need strong conditions of quadratic Lyapunov, exponential or asymptotic stabilization. Using techniques of switched control or convex combination, the unstable subsystems can be convergent in need of weak conditions, such as convergent subspace. This paper analyzed the convergence of perturbed switched systems. Three switching laws and algorithms of state feedback, threshold restriction and state delay were designed. The state estimation and error analysis were achieved in observed switched systems with state estimator. Through simulation by Matlab procedures, some optimal parameters were found and the switched experiment data were analyzed and compared, which showed the stabilization and convergence performance under different switched laws.

Key words: switched control; switching law; convergence; convex combination; estimator

0 引言

应用于大型混杂系统的切换控制理论研究尚处于研究和阶段,一些稳定性、可控性等理论已相对成熟。例如, Daniel Liberzon 最初在文献[1]中提出了切换系统设计的3个主要研究问题, SUN 等人^[2]对切换系统的稳定性、可控性、可观测性及切换优化提出了一些充分必要条件。混合切换控制作为一种新型的控制方法,在许多工业领域已有不少的应用,主要包括:电力系统以及变电站的切换;飞行器队型、运动机器人、交通控制;汽车工业、车辆控制;模糊系统分析、基于模糊逻辑的切换控制;网络流量与阻塞控制等。

目前,切换无论是慢切换或高频切换、已知切换率或随机切换率,均包含大量复杂的微分运算,传统的数学微分方程解析解已很难适应。因此,如何利用计算机编程技术或 Matlab 等计算工具是将切换控制技术应用到工程项目的重要问题,其中如何寻找合适的切换率和切换收敛算法使不稳定的子系统切换稳定亦是切换控制研究的重要课题。实际工程应用系统多具有扰动性和不确定性,切换系统的理论数学解很难发挥作用,因此需要借助计算机程序计算其数值解,通过分析其解曲线规律来研究其稳定和收敛性。下面通过 Matlab 矩阵运算和编程寻找切换系统收敛的各类参数,设计几种切换率

和算法,并结合实例数据进行分析,解决凸组合收敛计算问题。

1 切换控制收敛

当系统没有输入及扰动时,对应的是其自治系统 $\delta \mathbf{x}(t) = \mathbf{A}_\sigma \mathbf{x}(t)$ 。若将输入及扰动统一视为扰动函数,其切换系统表达式为:

$$\begin{cases} \delta \mathbf{x}(t) = \mathbf{A}_\sigma \mathbf{x}(t) + \mathbf{f}_\sigma(t) \\ \mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0 \\ \mathbf{y}(t) = \mathbf{C}_\sigma \mathbf{x}(t) + \mathbf{h}_\sigma(t) \end{cases} \quad (1)$$

设 s_i 为 $[t_0, t_1]$ 中的切换时间点,且满足 $t_0 = s_0 < s_1 < \dots < s_m < t_1$, 则 $\{s_0, s_1, \dots, s_m\}$ 为一切换时间序列。设 $\theta(s_{m+}) = k_m$, 则 $\{\mathbf{x}_0, (s_0, k_0), \dots, (s_m, k_m)\}$ 为带初始条件的切换序列。 $h_i = s_{(i+1)} - s_i$ 为 k_i 子系统运行的延续时间,定义 $\{(\theta(s_{0+}), h_0), \dots, (\theta(s_{m+}), h_m)\}$ 为切换时间延续序列。若存在对应 \mathbf{x}_0 切换序列 $\sigma_{\mathbf{x}_0}$, 使得其对应的解 $\varphi(t; 0, \mathbf{x}_0, \sigma_{\mathbf{x}_0}) \rightarrow 0, t \rightarrow \infty$, 则称切换系统在 \mathbf{x}_0 处切换收敛^[2-3]。从切换收敛性看,切换信号 σ 的选择十分关键,它需要满足:适当频度的切换频率,并避免系统抖动,尤其是零点附近颤动;高的系统的鲁棒性和抗干扰能力。

如果切换系统中存在共同的李亚普诺夫函数 $V = \mathbf{x}^T \mathbf{P} \mathbf{x}$, 对

收稿日期:2010-01-21;修回日期:2010-03-30。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60674042);广东省科技计划项目(2009B010800054)。

作者简介:祝庚(1975-),男,湖南衡阳人,讲师,博士研究生,主要研究方向:计算机控制;熊金志(1964-),男,广东东莞人,教授,主要研究方向:人工智能。

于每个模式均有 $A_i^T P + P A_i < 0$ 负定 ($i = 1, \dots, m$), 则它是二次型稳定的^[4-5]。而求解共同李亚普诺函数十分困难, 可以寻找切换系统的凸组合 $A_0 = \sum w_i * A_i$, 其中 $\sum w_i = 1$, 若 A_0 二次型稳定, 则切换系统必然稳定。对于线性时不变切换系统, 指数稳定等价于渐进稳定, 并等价于切换收敛, 而切换二次型稳定必然指数稳定和切换收敛^[6]。

2 基于观测器的切换收敛

若切换系统式(1)中的 $y(t)$ 为 q 维可观测的列向量, 而状态 $x(t)$ 不容易观测, 则设计其对应的状态观测器表达式为:

$$d\hat{g}(t)/dt = A_\sigma \hat{g}(t) + L_\sigma [y - C_\sigma \hat{g}(t)] \quad (2)$$

设估计误差 $\bar{e} = x - \hat{g}$, 推导出误差方程为:

$$d\bar{e}(t)/dt = (A_\sigma - L_\sigma C_\sigma) \bar{e} + f_\sigma(t) - L_\sigma h_\sigma(t) \quad (3)$$

若 \bar{e} 是稳定收敛为 0 的, 则有 $\hat{g} \cong x$ 近似等价。综合式(2)~(3)得到:

$$d\hat{g}/dt = A_\sigma \hat{g} + L_\sigma C_\sigma \bar{e} + L_\sigma h_\sigma(t) \quad (4)$$

并将其后两项视为一个扰动输入, 若先求出 \bar{e} 则 \hat{g} 不难解出。在式(3)中, 为了使得 \bar{e} 收敛, 可以通过可控镇定方法, 并调用 Matlab 提供的 `acker()` 函数得到 L_σ 的解。

若 \bar{e} 对应的自治系统 $(A_\sigma - L_\sigma C_\sigma) \bar{e}$ 可切换收敛, 而 $f(t)$ 、 $h(t)$ 有界, 则 $f_\sigma(t) - L_\sigma h_\sigma(t)$ 有界, 则 \bar{e} 必定有界; 若 $f(t)$ 、 $h(t)$ 收敛, 则 \bar{e} 必定收敛^[7-9]。同理在 \bar{e} 收敛情况下, 式(4)中若 A_σ 可切换收敛, $h(t)$ 有界时, \hat{g} 必有界, 而 $h(t)$ 收敛时, \hat{g} 必收敛。所以要估计状态 x , 必须先求 \bar{e} 和 \hat{g} , 而 $x = \hat{g} + \bar{e}$, 若 \hat{g} 和 \bar{e} 均切换收敛, 则 x 必然切换收敛。假设存在 A_σ 的二次型稳定型凸组合, 即可以找到 $w = \{w_1, \dots, w_n\}$ 使得 $\sum w_i * A_i = A_0$, 存在正定矩阵 P 使得 $A_0^T P + P A_0 = Q$ 负定, 则可以使 \hat{g} 收敛。同样若存在正定矩阵 R 和 $\sum \hat{w}_i * (A_i - L_i C_i) = \bar{A}$, 使得 $\bar{A}^T R + R \bar{A} = \bar{Q}$ 负定, 则式(3)中 \bar{e} 对应的自治系统可收敛。根据上述思路, 在已知式(1)中各系数矩阵及扰动的前提下, 通过寻找凸组合系数和正定矩阵, 提出 3 类切换收敛算法。

3 切换收敛算法设计

3.1 反馈切换收敛算法

以式(4)为例, 将其改为 $d\hat{g}/dt = A_\sigma \hat{g} + B_\sigma u_\sigma(t)$ 形式方便 Matlab 计算, 对 \bar{e} 微分方程(式(3))亦做类似处理。调用 `lsim` 函数求解状态曲线, 也可以调用 `ode45`、`ode32` 等求近似解, 实践中根据状态方程的线性及非线性情况而定。下面将状态反馈切换算法过程概括为:

1) 输入式(1)中 A_i 、 C_i 、 f_i 、 h_i 、 r_i 等参数, 其中 $i \in \{1, \dots, m\}$, $r_i \in [0, 1]$ 。计算 $A_0 = w_1 * A_1 + \dots + w_m * A_m$, 调用 `lyap()` 函数计算 Lyapunov 方程 $A_0^T P + P A_0 = -I_n$ 的解 P 。为确保 P 正定, 可以编写程序寻找 w , 并满足 $\sum w_i = 1$, $w_i > 0$ 使得每个子系统参与切换, w 的组合可能有多种。调用 $L = \text{acker}(A_i, B_i, p)$ 计算镇定特征向量 p 的增益矩阵 L_i , 其中 p 须由负特征根组成, 并计算 $(A_\sigma - L_\sigma C_\sigma)$ 凸组合为式(3)中的 \bar{e} 做准备。

Matlab 编程中使用 `ode45` 利用 Runge-Kutta 方法求解微分方程的数值解, A_i 的 `ode` 头文件格式为 `function dy = ex517i(t,y) { ...; dy = A_i * y + f_i; ... }` 形式, 调用 `[T,Y] = ode45('ex517i',[t,t+tw],st)` 求解在时间 $[t, t+tw]$ 上初值向

量为 st 的 A_i 切换子系统的状态解 Y 。

2) 循环计算 $Q_i = A_i^T P + P A_i$, 显然有 $\sum w_i * Q_i = -I_n$, 令 $\sigma(t_0) = \text{argmin}\{\hat{g}_0^T Q_1 \hat{g}_0, \dots, \hat{g}_0^T Q_m \hat{g}_0\}$, 其中 \hat{g}_0 为观测器初始值, `argmin` 函数为计算最小下标运算, 若有相同最小则取第一个下标。

3) 计算下一步的切换时间点 t_1 , 而且 $t_1 = \inf\{t > t_0, \hat{g}(t)^T Q_{\sigma(t_0)} \hat{g}(t) > -r_{\sigma(t_0)} * \hat{g}(t)^T \hat{g}(t)\}$, `inf` 为满足条件的最小确界。计算出 $\sigma(t_1) = \text{argmin}\{\hat{g}(t_1)^T Q_1 \hat{g}(t_1), \dots, \hat{g}(t_1)^T Q_m \hat{g}(t_1)\}$, 显然有 $\sigma(t_1) \neq \sigma(t_0)$ 成立, 同时可以推导出 $\hat{g}(t_1)^T Q_{\sigma(t_1)} \hat{g}(t_1) < -\hat{g}(t_1)^T \hat{g}(t_1)$, 从而确保切换到的 $\sigma(t_1)$ 子系统 Lyapunov 方程 $A_{\sigma(t_1)}^T P + P A_{\sigma(t_1)} < 0$ 而收敛。无扰动时调用 `initial(A_{\sigma(t_1)}, \dots, \hat{g}_0, t_1)` 计算以 \hat{g}_0 为初值, 在时间 $[0, t_1]$ 内的状态曲线 \hat{g} , 带扰动 u 时调用 `lsim()` 或 `ode45`。

4) 循环计算 $k+1$ 步切换时间点 $t_{(k+1)} = \inf\{t > t_k, \hat{g}(t)^T Q_{\sigma(t_k)} \hat{g}(t) > -r_{\sigma(t_k)} * \hat{g}(t)^T \hat{g}(t)\}$, 及切换率 $\sigma(t_{(k+1)}) = \text{argmin}\{\hat{g}(t_{(k+1)})^T Q_1 \hat{g}(t_{(k+1)}), \dots, \hat{g}(t_{(k+1)})^T Q_m \hat{g}(t_{(k+1)})\}$, $k \in \mathbb{N}_+$ 。无扰动时调用 `initial(A_{\sigma(t_{(k+1)}), \dots, \hat{g}(k), t_{(k+1)})}` 计算以 $\hat{g}(k)$ 为初值, 在时间 $[t_k, t_{(k+1)}]$ 上状态曲线 \hat{g} , 有扰动时调用 `lsim()` 或 `ode45()` 等函数。

5) 当误差 $e = \hat{g} - 0$ 的小于期望值 E , 即 $\|\hat{g}\| < E$ 后结束切换计算, 并将每步的状态 \hat{g} 的值串联, 通过 $\hat{g}_i = [[0]_{(n-1) \times 1}, [0]_{1 \times (n-1)}]^T * \hat{g}^T$ 求得 \hat{g} 的第 i 个状态分量, 调用 `plot()` 绘制各分量切换收敛图。

6) 对 \bar{e} 进行上述步骤的计算, 当 $t > t_b$ 后, 均有 $\bar{e} \rightarrow 0$, 则在时间 $[t_b, \infty)$ 上, 估计状态 \hat{g} 已近似原系统状态 x , 从而得到不容易观察的原系统状态, 算法结束。

3.2 阈值修正切换算法

由于切换率没有约束 $\hat{g}^T * \hat{g}$ 的范围, 所以 \hat{g} 在零点邻域内可能进行大量的切换, 从而发生抖动现象, 而实际上这些切换是有害的。令一很小的正数阈值 $u > 0$, 当 $\|\hat{g}\| < u$ 时不进行切换, 而在 $\hat{g}^T * \hat{g} > u$ 及其他条件成立才允许切换。将 3.1 节算法中的切换时间点条件修正为 $t_{(k+1)} = \inf\{t > t_k, \hat{g}(t)^T Q_{\sigma(t_k)} \hat{g}(t) > -r_{\sigma(t_k)} * \hat{g}(t)^T \hat{g}(t) \&\& \hat{g}(t)^T * \hat{g}(t) > u\}$, $t \in [t_k, t_{(k+1)})$, $k \in \mathbb{N}_+$, 从而减少系统切换的次数并避免抖动现象出现。要求 v 的值不宜过大, 避免状态 \hat{g} 在阈值区间进行波动而不收敛。参数修正切换算法的步骤同上述反馈切换收敛算法类似, 只需要对状态进行约束处理即可。

3.3 状态延时切换算法

引理 1 已知 $A_1, \dots, A_m \in \mathbb{R}^{n \times n}$, 那么存在一个较小的正实数 ζ , 使得 $\exp(A_m t) * \dots * \exp(A_1 t) = \exp((\sum A_i)t + \gamma(t)t^2)$, $\gamma(t)$ 为一有界解释矩阵, 在 $t < \zeta$ 时均可成立^[10]。

假设存在凸组合 $\sum w_i * A_i = A_0$ 可切换收敛, 根据引理 1 可知, 存在一个较小正数 η , 当 $t < \eta$ 时有 $\exp(w_m A_m t) * \dots * \exp(w_1 A_1 t) = \exp(A_0 t)$ 成立。计算 $\eta_1 = w_1 * \eta, \dots, \eta_m = w_m * \eta$, 并且 $\sum \eta_i = \eta$, 那么存在一切换序列 $\{x_0, (i_1, \eta_1), \dots, (i_k, \eta_k), \dots, (i_m, \eta_m)\}$, 使得范数 $\|\exp(A_{i_k} \eta_m) * \dots * \exp(A_{i_1} \eta_1)\| < 1$ 。说明 A_{i_k} 可以在反馈切换时间的基础上再延长 η_k 时间, 并在下一周期采用相同的切换顺序和延续时间, 可以确保延时周期切换是收敛的。需要说明的是当 η 较大时, 上述引理不一定成立, 其对应的延时切换可能会发散, 而引起系统不稳定。延时切换的目的是减少切换次数, 但其切换收敛时间可能会增加。

下面借助 IIF 函数表示切换率, 计算初始切换率 $\sigma(t_0)$:

$$IIF(\hat{g}_0^T Q_{i1} \hat{g}_0 < \hat{g}_0^T Q_{i_m} \hat{g}_0, \sigma(t_0) = i_1, i_m)$$

及其 j_0 的值:

$$IIF(\sigma(t_0) = i_1, j_0 = 1, j_0 = 0)$$

循环计算 $t_{(k+1)}$ 和 $\sigma(t_{k+1})$:

$$IIF(\sigma(t_k) = i_1, t_{k+1} = \inf\{t > t_k, \hat{g}(t)^T Q_{\sigma(t_k)} \hat{g}(t) > -r_{\sigma(t_k)} \hat{g}(t)^T \hat{g}(t)\} + \eta_{i1}, IIF(\sigma(t_k) = i_m, t_{k+1} = \inf\{t > t_k + \eta_{im}, \hat{g}(t)^T Q_{\sigma(t_k)} \hat{g}(t) > -r_{\sigma(t_k)} \hat{g}(t)^T \hat{g}(t)\}, t_k + \eta_{j_0 + \text{mod}(k, m)}) \\ \text{而 } \sigma(t_{k+1}) = \text{mod}(k + j_0, m) + 1。$$

$i_1 \sim i_{m-1}$ 在状态切换的基础上再延时对应 η_k 时间, 而 i_m 则最小进行 η_m 的切换时间。若 $m = 2$ 时, 如果 $\sigma(t_k) = i\{1, 2\}$, 则 $\sigma(t_{k+1}) = \text{mod}\{i, 2\} + 1$ 。

1) 到 3) 与反馈切换算法类似。

4) 若 $\sigma(t_k) = i_1$, 计算 $t_{k+1} = \inf\{t > t_k, \hat{g}(t)^T Q_{\sigma(t_k)} \hat{g}(t) > -r_{\sigma(t_k)} \hat{g}(t)^T \hat{g}(t)\}$ 和 $\hat{g}(t_k)$, 调用 $lsim(A_{i1}, \dots, \hat{g}(t_k), t_k + \eta_{i1})$ 得到状态 $\hat{g}(t_k + \eta_{i1})$, 计算 $\sigma(t_{k+1}) = \text{mod}(k + 1, m) + 1$, 循环计算下一步的切换时间点、切换率和状态曲线。当 $\sigma(t_k) = i_m$, 计算 $t_{k+1} = \inf\{t > t_k + \eta_{im}, \hat{g}(t)^T Q_{\sigma(t_k)} \hat{g}(t) > -r_{\sigma(t_k)} \hat{g}(t)^T \hat{g}(t)\}$, 调用 $lsim(A_{im}, \dots, \hat{g}(t_k), t_k)$, 也可用 $ode45$ 等替代 $lsim$ 求解。

5) 循环进行第 4) 步, 直至误差达到允许范围, 绘制 \hat{g} 的各分量曲线图, 算法结束。

4 切换计算实例仿真

下面以一个 3 阶切换控制系统为实例, 其切换子系统系统数矩阵为:

$$A_1 = \begin{bmatrix} -5.23 & 6.4 & 8.9 \\ 2.5 & -3.6 & -1.5 \\ -2.38 & -4.7 & 3.9 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} -2.5 & -5.6 & -6.8 \\ 5.8 & -6 & 4.2 \\ -6.1 & -2.65 & -2.34 \end{bmatrix}$$

$$f_1 = \begin{bmatrix} \sin(2t)/(1+t^2) \\ -0.5/(1+t^2) \\ 0.3/(1+t^2) \end{bmatrix}$$

$$f_2 = \begin{bmatrix} -te^{-t}/(1+t^2) \\ \ln((2+t^2)/(1+t^2))/(1+t^2) \\ 0.6/(1+t^2) \end{bmatrix}$$

$$h_1 = h_2 = 0$$

$$x_0 = [0.45 \quad -0.33 \quad 0.327]$$

对应切换系统为:

$$\frac{dx}{dt} = A_\sigma x(t) + f_\sigma(t)$$

$$x(t_0) = x_0, \quad y(t) = C_\sigma x(t)$$

$$r_1 = 0.3, \quad r_2 = 0.2$$

$$c_1 = [1 \quad 0 \quad 0], \quad c_2 = [0 \quad 1 \quad 0]$$

通过 Matlab 计算出 A_1 的特征值为 $-8.5061, 1.7880 \pm 3.1216i$, A_2 的特征值为 $3.8358, -7.3379 \pm 6.2825i$, 均不能稳定。统计出共 28 对 w_1, w_2 组合值使得 $w_1 \times A_1 + w_2 \times A_2 = A_0$ 可以稳定, 取 $\eta = 1$ s 时, 当 $w_1 = 0.48, w_2 = 0.52$ 时, $\|\expm(w_1 \times \eta \times A_2) * \expm(w_2 \times \eta \times A_1)\| = 0.8329$ 的值最小, 此时的收敛速度最快。因为 $\text{rank}(\text{obsv}(A_i, c_i))$ 均为满秩 3, 说明 y_1, y_2 可观

测, 故可以构建观测器进行估计, \hat{f}_i 均收敛, 只要自治系统收敛, 则扰动系统也收敛。对该切换系统分别采用上述 3 类切换率进行 Matlab 实现, 采样时间间隔取 0.01 s, 针对无扰动统计数据为 1) ~ 3), 有扰动情况为 4) ~ 5)。

1) 仿真无扰动时, 在切换率作用下, 切换 118 次, 耗时 3.01 s 后, 误差 $e = 5.6807E-4$, 如图 1(a)。

2) 采用切换率, 无输入扰动下, 耗时 3.01 s, 取阈值 $v = 0.00005$, 切换 93 次, 误差 0.0068, 如图 1(b)。 $v = 0.0005$, 切换 81 次, 误差 0.0216; $v = 0.005$, 切换 65 次, 误差 0.068; $v = 0.05$, 切换 48 次, 误差 0.2051。数据表明 v 越小, 误差越小, 但切换次数增加。

3) 采用切换率, 在无扰动情况下, 耗时 4.06 s, A_1 延时 0.1 s, A_2 延时 0.1 s, 切换 30 次, 误差 $2.7574E-4$, 如图 1。同样时间内采用 $\eta_1 = 0.15$ s, $\eta_2 = 0.15$ s 时, 切换 22 次, 误差 0.03; $\eta_1 = 0.2$ s, $\eta_2 = 0.2$ s 时, 切换 18 次, 误差 0.1542; 当 $\eta_1 = 0.3$ s, $\eta_2 = 0.3$ s 后, 12 s 后切换 35 次可以收敛; 但当 $\eta_1 = 0.5 > w_1, \eta_2 = 0.55 > w_2$ 时其曲线却已发散, 如图 1(d)。数据表明延续时间越多, 切换的次数越少, 但是收敛的时间需要越多, 收敛速度也有所下降, 误差也越大。

4) 在考虑输入扰动的情况, 采用切换率对切换系统进行仿真, 实验切换数据说明在有扰动情况下, 各类切换需要的收敛时间比无扰动时明显增加, 状态曲线的波动幅度也更大些, 需要的切换次数也更多。程序需要改动的地方只是切换系统的微分方程式, 其他代码一样, 实验数据在下面估计器中计算并分析。

5) 若原系统 x 状态不易直接测量, 而 y_1, y_2 可观测, 可利用观测器进行估计^[11]。为了使 $A_\sigma - L_\sigma C_\sigma$ 满足 Hurwitz 条件而稳定, 不妨设其可镇定特征根分别为:

$$j c_1 = [-4 \quad -4 \quad -5]$$

$$j c_2 = [-3 \quad -2 \quad -6]$$

调用 $L_i = \text{acker}(A_i^T, c_i^T, j c_i)^T$, 得到:

$$L_1 = [8.07 \quad 0.618 \quad 8.0834]^T$$

$$L_2 = [13.8725 \quad 0.16 \quad -19.5846]^T$$

计算 \bar{e} 时, 取其 $\hat{g}_1 = 0.66, \hat{g}_2 = 0.34, \eta_1 = \eta_2 = 0.05$, 设其初值为 x_0 , 采用延时切换率 3.3, 由于存在收敛扰动, 在算法条件判断中增加阈值 $v = 0.00001$ 减少抖动, 另取 $r_1 = 0.1, r_2 = 0.15$, 在 10 s 内其切换 49 次。而对于估计器 $d\hat{g}/dt = A_\sigma \hat{g} + L_\sigma C_\sigma \bar{e}$, 设初值 $\hat{g}_0 = [4.5 \quad -5.6 \quad 0.2]$, 将 $L_\sigma C_\sigma \bar{e}$ 视为扰

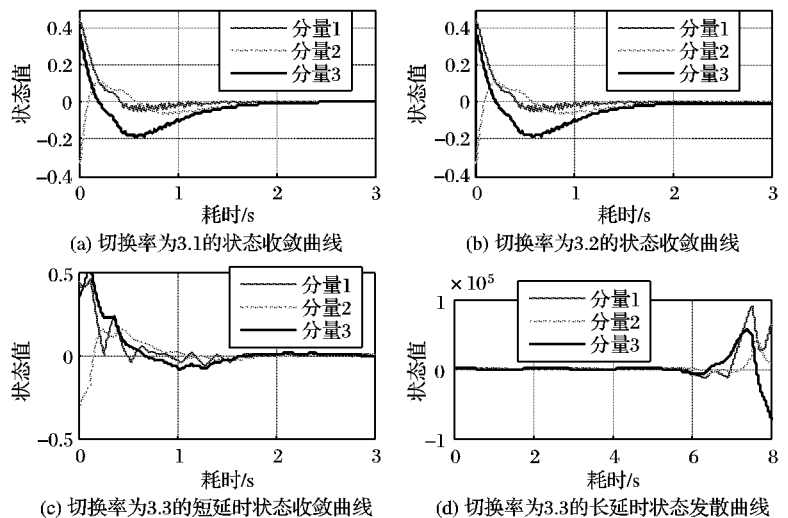


图1 3类无扰动切换 Matlab 曲线

动, \bar{e} 在上步已解出。由于 A_1, A_2 均不稳定, 设 $w_1 = 0.48, w_2 = 0.52$, 而凸组合 $A_0 = \sum w_i * A_i$ 可以稳定, 对其采用切换率, 延时 $\eta_1 = \eta_2 = 0.05$, 阈值 $v = 0.00001$ 时, 耗时 6 s, 切换 78 次, 误差范数 0.0037, 状态曲线如图 2(b), 2 s 后误差趋近 0, \hat{g} 即为 x 的状态估计。

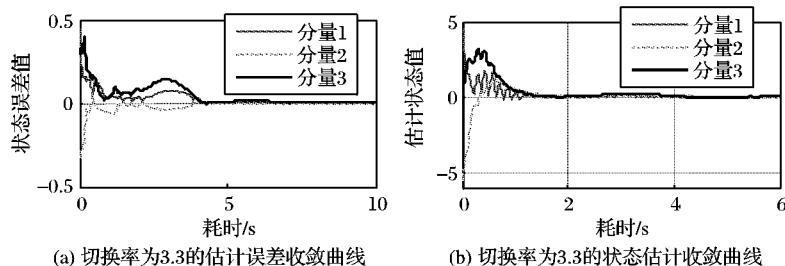


图2 扰动下误差及状态估计收敛曲线

5 结语

寻找相应凸组合而使 A_0 稳定的前提是切换系统有可收敛的特征子空间^[12], 通过上述 3 类状态及组合延时切换算法可使系统稳定, 利用 Matlab 工具亦可方便进行设计和实现。通过寻找较好的 w 和 L 等系数, 确保系统快速稳定收敛。3 类切换率收敛算法互有优劣, 工程实践中可以组合运用。比较而言, 同样时间内, 反馈切换次数大于阈值修正切换次数, 而状态延时切换次数最少, 收敛速度则相反, 对于扰动抖动系统则需要进行阈值约束减少切换次数和收敛误差。

参考文献:

- [1] LIBERZON D, MORSE S. Basic problems in stability and design of switched systems[J]. IEEE Control System, 1999, 19(5): 59-70.
- [2] SUN Z D, GE S S. Switched linear systems control and design [M]. London: Springer, 2005.
- [3] SUN X M, WANG W, LIU G P, et al. Stability analysis for linear switched systems with time varying delay [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2008, 38(2): 528-533.
- [4] JOHANSSON M, RANTZER A. Computation of piecewise quadratic Lyapunov functions for hybrid systems [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 1998, 43(4): 555-559.
- [5] ZHANG LIGUO, LI HONGFENG, CHEN YANGZHOU. Robust stability and L2-gain analysis for uncertain discrete time switched systems with time-delay [C]// Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation. Chongqing: [s. n.], 2008: 845-850.
- [6] SUN Z, GE S S. Dynamic output feedback stabilization of a class of switched linear systems [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems: Fundamental Theory and Applications, 2003, 50(8): 1111-1115.
- [7] XU XUPING, ZHAI GUISHENG, HE SHOULING. Stabilizability and practical stability of continuous time switched systems: A unified view [C]// Proceedings of the 2007 American Control Conference. Washington, DC: IEEE, 2007: 663-669.
- [8] SPINELLI W, BOLZERN P, COLANERI P. A note on optimal control of autonomous switched systems on a finite time interval [C]// Proceedings of the 2006 American Control Conference. Washington, DC: IEEE, 2006: 5947-5952.
- [9] HETEL L, DAFOUZ J, IUNG C. Stability analysis for discrete time switched systems with temporary uncertain switching signal [C]// Proceedings of the 46th IEEE Conference on Decision and Control. Washington, DC: IEEE, 2007: 5623-5628.
- [10] SUN Z, GE S S. On stability of switched linear systems with perturbed switching paths [J]. Journal of Control Theory and Applications, 2007, 4(1): 18-25.
- [11] MAHMOUDI A, MOMENI A. On observer design for a class of impulsive switched systems [C]// American Control Conference. Washington, DC: IEEE, 2008: 4633-4639.
- [12] SUN Z, GE S S. Switched stabilization of higher-order switched linear systems [C]// Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control and the European Control Conference. Washington, DC: IEEE, 2005: 4873-4878.

(上接第 1672 页)

值得注意的是, 同一个词在不同语境下带有明显的语境色彩和倾向性^[9]。而且, 对输入文本切分不正确也会影响标注结果。同时, 还存在着严重的数据稀疏问题。但总的来说, 本文提出的这种基于改进 VSM 的词义排歧方法充分利用了现有的语义、语法甚至语用知识; 并利用了现有的词语搭配库, 在一定程度上改善了词义标注结果。

3 结语

本文结合实例介绍了基于向量空间模型进行词义标注的策略, 正确率在 80% 以上, 表明这一算法对词义排歧的效果有一定改善。未来工作的重点是扩充训练语料以及词语搭配库, 并在特征词选取等环节上做细致地调整, 以期得到更为理想的排歧效果。由于中文语义、语料资源的限制, 词语语义自动标注仍将是一个长期而艰巨的任务, 本文仅仅在语义研究中得到了初步的结果, 距离实现真实文本语义标注还有一定的差距。

参考文献:

- [1] YING DING. IR and AI: Using co-occurrence theory to generate lightweight ontologies [C]// Proceedings of 12th International Workshop on Database and Expert Systems Applications. Washington, DC: IEEE, 2007, 9: 961-965.
- [2] 吴光远, 何丕廉, 曹桂宏, 等. 基于向量空间模型的词共现研究及其在文本分类中的应用[J]. 计算机应用, 2003, 23(6): 138-145.
- [3] ATLAM E-S. A new method for construction field association terms using co-occurrence words and declinable words information [C]// Proceedings of 2002 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Washington, DC: IEEE, 2002, 4: 95-100.
- [4] 郭池, 陈家俊. 一种基于语料库的词义消歧策略[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(6): 121-125.
- [5] 周舫. 汉语句子相似度计算方法及其应用的研究[D]. 郑州: 河南大学, 2005.
- [6] 王荣波, 池哲儒. 基于词类串的汉语句子结构相似度计算方法[J]. 中文信息学报, 2005, 19(1): 25-32.
- [7] 刘群, 李素建. 基于《知网》的词汇相似度计算[EB/OL]. [2002-10-10]. <http://www.keenage.com>.
- [8] CHE WANXIANG, LIU TING, LI SHENG. A new Chinese natural language understanding architecture based on multilayer search mechanism [C]// The Third SIGHAN Workshop on Chinese Language Processing. Barcelona, Spain: [s. n.], 2004: 134-400.
- [9] TURNEY P D, LITTMAN M L. Measuring praise and criticism: Inference of semantic orientation from association [J]. ACM Transactions on Information Systems, 2003, 21(4): 315-346.