一类参数不确定系统的鲁棒正实性

李 静, 沈晓奇, 曾建平

(厦门大学信息科学与技术学院 福建 厦门 361005)

【摘 要】: 本文考虑了一类参数不确定系统的鲁棒正实性, 给出了一个输出反馈系统具有鲁棒严格扩展正实性(ESPR)的充分条件以及求反馈控制器的方法, 并利用该条件可估计出系统保持 ESPR 的最大参数摄动范围。在此基础上, 对某不确定控制系统进行了鲁棒正实控制设计, 并采用两种方法对结果进行验证, 仿真的结果证明了该设计的有效性与可行性。

【关键词】: 不确定性系统; 鲁棒正实性; 鲁棒正实控制; ESPR; LMI

1.引言

正实性是网络理论中的一个重要概念, 同时在系统和控制理论中的有关稳定性分析,超稳定性,自适应控制,二次最优与代数 Riccati 方程以及系统的稳定实现等方面都有很重要的应用。如何构造一反馈控制器使得闭环系统不仅内部稳定而且正实在鲁棒控制和非线性控制中具有重要的意义。对于实际中常见的参数不确定系统, 其鲁棒严格正实控制器的综合在实际中也具有很大意义。本文针对实际中经常存在的一类范数有界参数不确定系统,讨论了输出反馈系统严格正实的问题,并通过仿真对其进行实现。

符号说明:文中 A^T 和 A^H 分别表示 A 的转置和共轭转置,I 表示合适维数的单位矩阵;矩阵 $A^{\perp}$具有性质:$A^{\perp}A=0, A^{\perp}A^{\perp T}>0$;

$$\left[\begin{array}{c|c} A & B \\ \hline C & D \end{array}\right] := C(sI-A)^{-1}B+D$$

假定所有矩阵具有合适的维数。

2.不确定系统描述及基本引理

考虑时不变系统:

$$\Sigma_0:\begin{cases} \dot{x}=Ax+Bu \\ y=Cx+Du \end{cases} \tag{1}$$

其中 $A\in R^{n\times n}, B\in R^{n\times q}, C\in R^{p\times n}, D\in R^{p\times q}$,p=q。

则系统(1)可由下述传递函数来描述:

$$G(s) := C(sI-A)^{-1}B+D \tag{2}$$

本文引用如下正实性定义:

定义 1[6] ① 系统 $G(s)$称为正实的(PR),如果 $G(s)$在开右半平面解析,且

$$G(s)+G^H(s)\geq 0 \qquad \forall \mathrm{Re}(s)>0$$

② 系统 $G(s)$称为严格正实的(SPR),如果 $G(s)$在闭右半平面解析,且

$$G(j\omega)+G^T(-j\omega)>0,\ \forall\omega\in[0,\infty)$$

③ 系统 $G(s)$称为扩展严格正实的(ESPR),如果 $G(s)$严格正实,且

$$G(j\infty)+G^T(-j\infty)>0$$

引理 1[6,7]考虑系统Σ_0,则Σ_0是 ESPR 的,当且仅当$\exists X>0$,使得

$$\begin{bmatrix} A^TX+XA & XB-C^T \\ B^TX-C & -(D+D^T) \end{bmatrix}<0 \tag{3}$$

引理 2[7] 给定矩阵 $B\in R^{n\times m}, C\in R^{k\times q}, Q=Q\in R^{n\times n}$ 则 $BGC+(BGC)^T+Q<0$ 可解,当且仅当$B^{\perp}QB^{\perp T}<0$,$C^{T\perp}QC^{T\perp T}<0$

为表述简洁,引入多项式矩阵的概念,设 $q=(q_1,\cdots q_k)^T\in R^m$ 为参数向量。文中

$$C_d^{i_1 i_2\cdots i_m}=\frac{d!}{i_1!i_2!\cdots(d-i_1-i_2-\cdots i_{m-1})!}$$

定义 2 矩阵 $Q_d(q)\in R^{k\times l}$ 称为 d 阶(m 元)齐次多项式矩阵,如果

$$Q_d(d)=\sum_{i_1+i_2+\cdots+i_m=d}\sqrt{C_d^{i_1 i_2\cdots i_m}}\,q_1^{i_1}q_2^{i_2}\cdots q_m^{i_m}Q_{i_1 i_2\cdots i_m} := M_dN_d$$

$$M_d=[q_1^dI,\cdots,\sqrt{C_d^{i_1\cdots i_m}}\,q_1^{i_1}\cdots q_m^{i_m}I,\cdots,q_m^dI]\in \mathbf{R}^{k\times kC_{d+m-1}^d}$$

$$N_d=[Q_{d\cdots 0}^T,\cdots,Q_{i_1\cdots i_m}^T,\cdots,Q_{0\cdots d}^T]^T\in\mathbf{R}^{l\times kC_{d+m-1}^d},\ 0\leq i_m\leq d$$

其中,$Q_{i_1 i_2\cdots i_m}\in R^{k\times l}$ 为系数矩阵。

定义 3 矩阵 $Q_d(q)\in R^{k\times l}$ 称为 d 阶(m 元)多项式矩阵,如果

$$\begin{cases} \bar{Q}_d(q)=\sum_{i=0}^{d}\sqrt{C_d^i}\,Q_i(q) := \bar{M}_d\bar{N}_d+Q_0 \\ \bar{M}_d=[\sqrt{C_d^1}M_1,\cdots,\sqrt{C_d^k}M_k,\cdots,\sqrt{C_d^d}M_d] \\ \bar{N}_d=[N_1^T,\cdots,N_k^T,\cdots,N_d^T]^T \end{cases}$$

其中,零阶齐次多项式矩阵 Q_0 为常数矩阵。显见,任意元素为参数的多项式的矩阵均可表示为上式的形式。

考虑不确定系统

$$\begin{cases} \dot{x}=(A_0+\Delta A)x+(B_0+\Delta B)u \\ y=Cx+Du \end{cases} \tag{4}$$

其中$[\Delta A\ \ \Delta B]=E\Delta(q)[F\ \ F_1]$, $\Delta(q)=\bar{Q}_d(q)+R$, $R^TR\leq I$

E,F,F_1 为已知的常数矩阵,R 为未知可测矩阵。

引理 3[11]:如果存在一个对称矩阵 $X=X^T>0$ 和一个实数常量使得

$$\begin{bmatrix} XA^T+AX+(1+\|q\|_2^2)^d\varepsilon^2EE^T & B-XC^T & X^TF^T \\ B^T-CX & -(D+D^T) & F_1^T \\ FX & F_1 & -\varepsilon^2(\bar{N}_d^T\bar{N}_d+I) \end{bmatrix}<0 \tag{5}$$

成立,则系统(4)为 ESPR 的。

3.不确定系统的输出反馈控制器

令 $\hat{y}=Cx$,考虑输出反馈控制器

$$\begin{cases} \dot{x}_c=A_cx_c+B_c\hat{y} \\ u=C_cx_c+D_c\hat{y}+v \end{cases} \tag{6}$$

式中$x_c\in\mathbf{R}^{n_c}$为控制器状态变量当满足合适的条件,两种形势可以互相转化。此时,闭环系统方程为

$$y=\left[\begin{array}{c|c} \hat{A}+\hat{B}G\hat{C}+\hat{E}\Delta(q)F_2 & \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix}+\hat{E}\Delta(q)\hat{F}_1 \\ \hline [C\ \ 0]+\hat{D}G\hat{C} & D \end{array}\right]v \tag{7}$$

$$A_{cl}=\hat{A}+\hat{B}G\hat{C},\ B_{cl}=\begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix},\ C_{cl}=[C\ \ 0],\ D_{cl}=D$$

$$\hat{A}=\begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},\ \hat{B}=\begin{bmatrix} B & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix},\ \hat{C}=\begin{bmatrix} C & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix},\ \hat{E}=\begin{bmatrix} E \\ 0 \end{bmatrix},\ \hat{F}=[F\ \ 0],$$

$$\hat{F}_1=[F_1\ \ 0],\ G=\begin{bmatrix} D_c & C_c \\ B_c & A_c \end{bmatrix},\ F_2=\hat{F}+\hat{F}_1G\hat{C},\ \hat{D}=[D\ \ 0]$$

福建省自然科学基金(A0510002)、厦门大学 985 二期信息创新平台项目和福建省新世纪优秀人才支持计划资助

由引理 3 可得，系统(8)为 ESPR，当存在一个矩阵 和一个实常量，使得如下 LMI 成立：

$$\begin{bmatrix} X_{cl}A_{cl}^T + A_{cl}X_{cl} + \varepsilon^2(1+\|q\|_2^2)^d \hat{B}\hat{B}^T & B_{cl} - X_{cl}(C_{cl} + \hat{D}G\hat{C})^T & X_{cl}{}^T F_2 \\ B_{cl}^T - (C_{cl} + \hat{D}G\hat{C})X_{cl} & -(D+D^T) & F_1^T \\ F_2 X_{cl} & F_1 & -\varepsilon^2(\bar{N}_d^T\bar{N}_d + I)^{-1} \end{bmatrix} < 0 \tag{8}$$

由引理 2 可将上式改写为：

$$\Phi + \Gamma G \Xi + (\Gamma G \Xi)^T < 0 \tag{9}$$

其中 $\Gamma = \begin{bmatrix} \hat{B} \\ -\hat{D} \\ \hat{F}_1 \end{bmatrix}$ $\Xi = \begin{bmatrix} \hat{C}X_{cl} & 0 & 0 \end{bmatrix}$

因此系统(7)的输出反馈控制器存在问题转化成了一个等价的纯代数问题，即包含矩阵变量 X_d 和 G 的矩阵不等式(9)可解性问题。根据引理 2，这样一个矩阵不等式是可行的当且仅当：

$$\Gamma^{\perp}\Phi\Gamma^{\perp T} < 0 \quad \Xi^{T\perp}\Phi\Xi^{T\perp T} < 0 \tag{10}$$

由于 X_d 是一个 $(n+n_C)\times(n+n_C)$ 维的实对称阵，其中 n 和 n_C 分别是系统模型和控制器的阶数，可以将矩阵 X_{cl} 和 X_{cl}^{-1} 做如下分解：

$$X_{cl} = \begin{bmatrix} X & X_2 \\ X_2^T & X_3 \end{bmatrix} \quad X_{cl}^{-1} = \begin{bmatrix} Y & Y_2 \\ Y_2^T & Y_3 \end{bmatrix} \tag{11}$$

其中 X_{cl} 和 X_{cl}^{-1} 均是 维的实对称矩阵。

注意到：

$$\Gamma^{\perp} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} B \\ -D \\ F_1 \end{bmatrix}^{\perp} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I \\ 0 & I & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \Xi^{T\perp} = \begin{bmatrix} \hat{C}^{T\perp} & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{cl}^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix}$$

由此有以下结论成立：

定理 1：如果存在矩阵 $X=X^T>0$ 和 $Y=Y^T>0$，满足下述矩阵不等式：

$$\begin{bmatrix} B \\ -D \\ F_1 \end{bmatrix}^{\perp} \begin{bmatrix} XA^T + AX + \eta EE^T & B - XC^T & XF^T \\ B^T - CX & -(D+D^T) & F_1^T \\ FX & F_1 & -\varepsilon^2(\bar{N}_d^T\bar{N}_d + I)^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B \\ -D \\ F_1 \end{bmatrix}^{\perp T} < 0 \tag{12}$$

$$\begin{bmatrix} C^{T\perp} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A^TY + YA & YB - C^T & F^T & YE \\ B^TY - C & -(D+D^T) & F_1^T & 0 \\ F & F_1 & -\varepsilon^2(\bar{N}_d^T\bar{N}_d + I)^{-1} & 0 \\ E^TY & 0 & 0 & -\varepsilon^2(1+\|q\|_2^2)^d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C^{T\perp T} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I \end{bmatrix} < 0 \tag{13}$$

$$\begin{bmatrix} X & I \\ I & Y \end{bmatrix} \geq 0 \tag{14}$$

其中 $\eta = \varepsilon^2(1+\|q\|_2^2)^d$。

则系统可通过输出反馈二次稳定正实，并且存在一个阶数为 $n_c \leq rank(X-Y^{-1})$ 的正实输出反馈控制器。

根据以上得到的正实控制器存在条件，可以按照设计所需要的输出反馈正实控制器。

先求取满足定理 1 条件的矩阵 X 和 Y，求满足 $X-Y^{-1}=X_2X_2^T$ 的矩阵 $X_2 \in R^{n\times nC}$，其中 n_C 可以选成是矩阵 $X-Y^{-1}$ 的秩。可以采用奇异值分解的方法得到这样的矩阵 X_2。用矩阵 X 和 Y_2 构造

$$X_{cl} = \begin{bmatrix} X & X_2^T \\ X_2 & I \end{bmatrix}$$

将得到的矩阵 X_{cl} 代入到矩阵不等式 $\Phi+\Gamma G\Xi+(\Gamma G\Xi)^T<0$ 中，从而引用 LMI 工具箱中的求解器 feasp 求出控制器的参数矩阵 G。

4.系统的验证与仿真

在控制器设计中，还存在如何鉴定一个控制器是否可用的问题。为了解决这个问题，下面提出了两种方法，一是根据系统鲁棒正实性的定义来检验，另一种是根据引理来证明。

考虑如下系统

$$\begin{cases} \dot{x} = \begin{bmatrix} -2.5 + q_1 & -3.2 + q_2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} -0.3 + q_1 + q_2 \\ -7 \end{bmatrix} u \\ y = \begin{bmatrix} -1 & -6 \end{bmatrix} x + 0.8u \end{cases} \tag{15}$$

摄动参数取标称化后的结果，即 $|q_1| \leq 0.5$ $|q_2| \leq 0.5$ 易知不确定性可以描述为(4)的形式，其中 为二维单位阵，

$$M_d = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix},\ F_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad N_d = \begin{bmatrix} q_1 & q_2 \end{bmatrix}$$

由于 $\triangle A, \triangle B$ 的不确定性与 q_1,q_2 有关，在 q_1,q_2 取不同的值时，得到的控制器不尽相同，在此，我们仅取 $q_1=0.5, q_2=0.2$，验证未加控制器的系统(15)能否正实。

4.1 定义验证

此时可求得系统的传递函数

$$G(s) = \frac{0.8\,s^2 + 36.34\,s - 2.56e\text{-}015}{s^2 + 2s + 3}$$

不难验证定义 1 中的②③ $G(jw)+G^T(-jw)>0$ 不能得到满足。

加输出控制器后，再来解闭环系统(7)，由定理 1 解出 LMIs 的可行解 X,Y

$$X = \begin{bmatrix} 2.2310 & -0.5353 \\ -0.5353 & 0.9042 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} 0.7970 & 0.2727 \\ 0.2727 & 0.8788 \end{bmatrix}$$

将 X,Y 的值带入，可以得到控制器 $G = 10^4 \times \begin{bmatrix} -0.0003 & -0.0002 & -0.0007 \\ -0.1951 & -0.3366 & -1.5256 \\ -0.3408 & -0.5887 & -2.6775 \end{bmatrix}$

进而可以求得闭环系统的传递函数：

$$G(s) = \frac{0.8\,s^4 + 2.415e004\,s^3 + 1.336e006\,s^2 + 1.091e007\,s + 4.556e006}{s^4 + 3.023e004\,s^3 + 2.018e006\,s^2 + 9.971e006\,s + 2.627e005}$$

再将闭环传递函数代入定义 1 中验证闭环系统是否正实。

得到 $G(jw)+G^T(-jw)>0$。可见，该控制器能实现不同条件下不确定系统的鲁棒正实性。

4.2 定理验证

通过把矩阵中的各个参数代入引理 1 的矩阵不等式，用 matlab 求解，如果得出有满足条件的可行解，则可知系统是正实的，否则，系统就不是正实的。

开环时，将各个参数代入矩阵不等式(3)，求解可知没有满足矩阵不等式的可行解，则原开环系统不是 ESPR 的。

闭环时，将求得的控制器代入闭环系统，再将闭环时的各参数代入矩阵不等式 (3)，求解可知存在满足矩阵不等式的可行解，其可行解为：

$$X = \begin{bmatrix} 5.4326 & 31.9600 & -9.6102 & -40.6558 \\ 32.1586 & 191.7294 & -57.2310 & -244.1875 \\ -9.1151 & -54.4901 & 16.9116 & 70.0640 \\ -40.7400 & -244.6018 & 69.7843 & 323.2034 \end{bmatrix}$$

由此可知闭环时系统是 ESPR 的。

5.结论

本文对于一类与摄动参数呈多项式函数关系的不确定性模型，通过实例模型，利用不确定性系统的鲁棒正实控制方法，设计了基于 LMI 的输出反馈控制器。验证结果表明了设计的有效性，这种设计方法还可以应用于某些具有大运行范围系统，需要注意的是系统的性能还未能达到理想状态，需要进一步考虑满足其他性能指标的多目标优化问题。

参考文献：

1.M. Vidyasagar, Nonlinear Systems Analysis, Prentice -hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993 .

2.P. Molander and J. C. Willems, Synthesis of state feedback control laws with a specified gain and phase margin, IEEE Trans. Automat. Control, Vol.25, 928-931, 1980.

3.P. Ioannou and G. Tao, Frequency domain conditions for strictly positive real functions, IEEE Trans. Automat. Control, Vol.32, 53-54, 1987.

4.W. M. Haddad and D. S. Bernstein, Parameter-dependent Lyapunov functions, constant real parameter uncertainty and the Popov criterion in robust analysis and synthesis, Proceedings of 30th IEEE Conf. Decis. Contr. Brighton, UK, 2274-2279, 2632-2633, 1991.

5.W. M. Haddad and D. S. Bernstein, Robust stabilization with positive

(下转第 63 页)

param="none" VaryByControl="mycontrol" %>, 其中参数 VaryByControl 根据在用户控件区域中控件值来判断所访问页面是否属于缓存范围。如果控件 mycontrol 前后两次值相等, 则不需要重新生成页面, 直接访问缓存。

若要允许缓存某个页面但动态地替换其中的某些内容, 可以使用缓存后替换。通过使用缓存后替换, 将对整个页面进行输出缓存, 并将特定的部分标记为不进行缓存。如在广告横幅示例中, AdRotator 控件使您可以利用缓存后替换功能, 以便为每个用户及在每次刷新页时动态创建广告。有三种方法可以实现缓存后替换: (1) 以声明方式使用 Substitution 控件; (2) 以编程方式使用 Substitution 控件 API。(3) 以隐式方式使用 AdRotator 控件。

3.3 数据缓存技术

在复杂的情况下, .NET 的缓存支持到期控制、搜索排除及文件依存和键值依赖技术。到期控制控制是针对特定的对象, 设定缓存的生存周期, 当该对象到期后, 就从缓存中移出。搜索排除又称为"腐烂搜索", 它类似于"最近最少使用"替换原则, 当内存资源紧张时, 缓存将从中删除不经常被访问的以及相对不重要的数据, 包括缓存数据消耗的资源达到多少或访问率低于多少都将会被删除。为控制"腐烂搜索"的具体行为, 开发人员必须在插入缓存对象时, 指明插入它的开销和至少多少时间它必须被存取一次才能继续留在缓存中, 以供替换时进行判断。

文件依存和键值依赖技术是通过外部文件或者其他缓存键值是否改变, 来决定本身键值是否有效。如果依赖发生改变, 缓存对象将变为不可用, 并从缓存中移出。当应用程序读入文件数据时, 它把数据插入缓存中, 并记录下文件的依赖关系。当文件发生改变时, 应用程序使开始产生的缓存对象无效, 并从内存中移出已经无用的数据, 此后应用程序重新读入数据, 再将更新后的数据放入缓存, 完成信息的更新, 并返回给最终用户。

4、Cookie

Cookie 提供了一种在 Web 应用程序中存储用户特定信息 (如历史记录或用户首选项) 的方法。Cookie 是一小段文本信息, 伴随着请求和响应在 Web 服务器和客户端之间传递。Cookie 包含每次用户访问站点时 Web 应用程序都可以读取的信息。

浏览器负责管理用户系统上的 Cookie。Cookie 随页请求被发送至服务器, 并且可作为 HttpRequest 对象的一部分进行访问, 只能读取当前域或路径中的页已经创建的 Cookie。浏览器只能将数据发送回最初创建该 Cookie 的服务器。

Cookie 保存在客户端的计算机上, 不会占用服务器的资源, 当用户开始浏览特定的网站时, 只需要检查客户端的计算机。在网站上使用 Cookie 保留的数据通常有以下几种: (1) 个人信息; (2) 个人喜欢的内容; (3) 购物车信息。

采用 Cookie 提高数据访问速度的具体做法是: 对服务器提供的数据, 给定一个键值, 这个键值采用该数据的编辑时间, 当客户当服务器发送请求时, 服务器在响应请求的同时, 向客户端的计算机写入一个 Cookie, 该 Cookie 中主要保留客户访问的时间。当下次客户向服务器再发送请求时, 首先通过 Cookie 判断该客户是不是初次访问, 如果是, 就从服务器的 Cache 中提取相应的数据发送到客户端; 如果该客户不是初次访问, 则提取该客户上次访问时间, 然后对照服务器上数据的键值, 如果键值与 Cookie 中的时间相同, 则该部分数据将直接从客户端提取; 对于键值不同的数据, 再从服务器端发送到客户端, 从而大大节省了网络的带宽, 降低了服务器端的开销。

Cookie 内容的访问方法如下:

```
Dim timecookie as HttpCookie
Timecookie=Request.Cookies("timer")
Dim time1 as date
Time1=Request.Cookies.Get("timer").Value
```

但是, 怀有恶意的用户可以访问 Cookie 并读取其中的内容。不要在 Cookie 中存储敏感信息 (如用户名或密码)。而应该存储可用来在服务器上查找敏感信息的标记。此外, Cookie 能够被篡改, 因此应采取与防止跨站点脚本攻击相同的措施来处理 Cookie 中的任何数据。

5、总结

本文从三个方面总结了提高服务器运行效率, 提高数据访问速度的方法, 当然具体采用何种方法, 主要还要根据网络的带宽和服务器提供何种服务来决定, 三种方法既可以单独使用, 也可以结合使用。这三种方法在我们开发的企业网和基于 WEB 的信息系统中我们都进行过测试, 实验证明这些方法都是可行的, 而且效果也是显著的, 对于提高企业网的运行效率成几何级数增长, 而且系统的可靠性也得到大大提高。

参考文献:

1.何莹, 唐九飞. 基于模板技术的生物信息软件 Web 自动发布系统[J].计算机工程与设计, 2007, 28(17): 4075- 4078
2.Xu dahua.Development of intelligent monitor- system based on Agent[C]. Proceedings of the 26th Chinese Control Conference, 2007, Volume(4): 639- 642
3.李振龙, 赵晓华.基于 CBR 的快速路 VMS 的信息发布策略[J].计算机工程与设计, 2007, 28(18): 4498- 4500

(上接第 19 页)

real uncertainty: Beyond the small gain theorem, Syst.Contr.Lett, Vol.17, No.3, 191- 208, 1991.
6.W. Sun, P. P. Khargonekar, D. Shim, Solution to the positive real control problem for linear time - invariant systems , IEEE Trans on Automatic Control, Vol.39, No.10, 2034- 2046,1994.
7.曾建平, 黄琳 一类不确定系统的鲁棒正实性分析与综合, 控制与决策, 2002, 17(6) 839- 842.
8.G. Tao, P.A. Ioannou, Strictly positive real matrices and the Lefschetz-Kalman- Yakubovich Lemma, IEEE Trans. on Automatic Control, Vol.33, No.12, 1183- 1185,1988.
9.L. Xie, Output feedback H∞ control of systems with parameter uncertainty, Int. J. of Control, Vol.63, 741- 750, 1996.
10.L.H. Xie, Y. C. Soh, Positive real control problem for uncertain linear time- invariant system, System & Control Letters, Vol.24, 265- 271, 1995.
11.J.Li, J.P.Zeng, Improvement of Robust Positive Realness for a Class of Uncertain Systems, Proceedings of the 26th Chinese Control Conference, July 26- 31,674- 677,2007,Zhangjiajie,Hunan,China.
12.俞立, 鲁棒控制- 线性矩阵不等式处理方法, 北京: 清华大学出版社, 2002.

(上接第 47 页)

5.陈祖义, 华勇, 王培.商业数据挖掘技术的应用及发展[J].当代经济, 2007,4:112- 113.
6. 张志友.数据挖掘技术在选课系统中的应用[J]. LABORATORYSCIENCE,2007,3:96- 94.
7.郭卜铭,吕渭济.高校科研管理中的数据挖掘技术及应用[J].科技和产业, 2007, 6(7): 38- 40.
8. 左颖,胡建萍.数据挖掘技术在现代教育管理中应用探讨[J].江西 化工,2007,2:104- 105.
9. 王艳春,秦刚,陈毓.数据挖掘在医保系统中的应用[J]. 长春理工大学学报,2007,2(30):70- 72.
10.丁维,蒋永光,宋姚屏,吴孟旭,李昆.数据挖掘及其在中医领域的应用研究[J]. 数理医药学杂志,2007 ,3(20):403- 404.
11. 王锐,马德涛,陈晨.数据挖掘技术及其应用现状探析[J]. 电脑应用技术,2007,69:20- 23.