广西科学院学报
Journal of Guangxi Academy of Sciences
2009,25(3):168～172
Vol. 25,No. 3 August 2009

凸多面体不确定时滞系统的鲁棒广义 H_2 控制

Robust Generalized H_2 Control for Time-delay System with Polytopic Uncertainties

温彦超[1],王汝凉[2],黎艳萍[3],李晓霞[3]
WEN Yan-chao[1],WANG Ru-liang[2],LI Yan-ping[3],LI Xiao-xia[3]

(1. 中山大学附属中学三水实验学校,广东佛山 528145;2. 广西师范学院信息技术系,广西南宁 530023;3. 广西师范学院数学科学学院,广西南宁 530023)
(1. Sanshui Experimental High School of Zhongshan University, Foshan, Guangdong, 528145, China; 2. Department of Information Technology, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi, 530023, China; 3. School of Mathematical Sciences, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi, 530023, China)

摘要:利用变量分离方法得出闭环时滞系统具有指定广义 H_2 性能的一个等价条件,再根据该等价条件,给出凸多面体不确定时滞系统存在鲁棒 L_2-L_∞ 状态反馈控制器的一个充分条件及控制器的设计方法,并用算例验证该方法能够求出凸多面体不确定时滞系统的最优扰动衰减水平,具有较小保守性.

关键词:时滞系统 广义 H_2 控制 凸多面体
中图法分类号:O231,TP13 **文献标识码**:A **文章编号**:1002-7378(2009)03-0168-05

Abstract: An equivalent condition of the closed-loop time-delay system satisfying the generalized H_2 performance was derived by using the method of variant separation. Based on the equivalent condition, a suffcient condition for the existence and design method of the generalized H_2 controller were given for the time-delay system with polytopic uncertainties. An illustrative example shows the minimum disturbance attenuation level with less conservative can be calculated by this method.

Key words: time-delay systems, generalized H_2 control, polytopic

在控制系统的设计中,通常不仅仅要求系统稳定,还要求系统能达到某一性能指标,即实现系统的优化控制.系统优化所采用的性能指标有 H_2,H_∞,H_2/H_∞,L_1 和 L_2-L_∞.基于 L_2-L_∞ 性能指标所提出的广义 H_2 控制问题是近年来发展起来的一个热门课题[1~4].众所周知,时滞和不确定是造成系统不稳定和性能下降的主要原因.因此,不确定时滞系统的优化控制问题引起科研工作者的极大关注[2,4~6].关于不确定时滞系统的广义 H_2 控制问题也自然得到重视[2,4].值得注意的是,近年来,凸多面体不确定性也得到越来越多学者的关注[7,8].关于凸多面体不确定性时滞系统的广义 H_2 控制问题的研究已获得初步进展[4].

本文通过变量分离方法,给出闭环时滞系统具有指定广义 H_2 性能的一个等价条件.再基于此条件以 LMI 形式给出凸多面体不确定时滞系统的鲁棒广义 H_2 状态反馈控制器存在的一个充分条件及其设计方法,并用数值实例验证所给方法的有效性.

1 预备知识

考虑时滞不确定系统:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + A_d x(t-\tau) + B_1\omega(t) + B_2 u(t), \\ z(t) &= Cx(t) + Du(t), \\ x(t) &= \varphi(t), \forall t \in [-\tau, 0], \end{aligned} \tag{1}$$

其中 $x(t)\in R^n$,$z(t)\in R^p$,$u(t)\in R^m$,$\omega(t)\in R^q$ 分

收稿日期:2009-04-13
作者简介:温彦超(1982-),男,硕士研究生,主要从事时滞系统稳定性理论研究。

别为系统的状态向量,控制输出,控制输入和干扰输入,τ 为时滞常量,$\varphi(t)$ 为定义在 $t\in[-\tau,0]$ 上的相容连续初始函数.

系统(1)不确定矩阵 A,A_d,B_1,B_2,C,D 具有如下形式:

$$[A,A_d,B_1,B_2,C,D]=\sum_{i=1}^{N}\lambda_i[A_i,A_{di},B_{i1},B_{i2},C_i,D_i],\ \sum_{i=1}^{N}\lambda_i=1,\lambda_i>0. \tag{2}$$

考虑状态反馈控制器:

$$u(t)=Kx(t). \tag{3}$$

在此反馈控制器作用下系统(1)形成的闭环系统可以描述为

$$\dot{x}(t)=A_cx(t)+A_dx(t-\tau)+B_1\omega(t), \tag{4}$$
$$z(t)=C_cx(t),$$

其中

$$A_c=A+B_2K,C_c=C+DK. \tag{5}$$

定义 1[4] 针对系统(1),若设计形如(3)式的状态反馈控制器满足要求:1)闭环系统(4)渐近稳定;2)闭环系统(4)具有一定的 L_2-L_∞ 扰动衰减水平,即从扰动输入 $\omega(t)$ 到控制输出 $z(t)$ 的 L_2-L_∞ 增益小于给定值.根据 L_2-L_∞ 性能指标的定义,即保证在零初始条件下(当 $\varphi(t)=0$ 时)

$$\sup_{\omega\in L_2-0}\frac{\|z\|_\infty^2}{\|\omega\|_2^2}<\gamma^2, \tag{6}$$

(6)式中 γ 为给定的正数,$\|\omega\|_2^2=\int_0^\infty\omega^T(t)\omega(t)\mathrm{d}t$,$\|z\|_\infty^2=\sup_t\{z^T(t)z(t)\}$.满足以上条件的控制器被称为 L_2-L_∞ 控制器.

引理 1 给定对称矩阵 $S=\begin{bmatrix}S_{11}&S_{12}\\S_{21}&S_{22}\end{bmatrix}$,其中 S_{11} 是 $r\times r$ 维的,那么以下3个条件等价:(1)$S<0$;(2)$S_{11}<0,S_{22}-S_{12}^TS_{11}^{-1}S_{12}<0$;(3)$S_{22}<0,S_{11}-S_{12}S_{22}^{-1}S_{12}^T<0$.

引理 2[2] 对于给定的常数 $\gamma>0$,闭环系统(4)、(5)具有指定的广义 H_2 性能,如果存在正定对称矩阵 $P>0$ 和 $R>0$,使得

$$\begin{bmatrix}PA_c+A_c^TP+R&PA_d&PB_1\\ *&-R&0\\ *&*&-I\end{bmatrix}<0, \tag{7}$$

$$\begin{bmatrix}P&C_c\\ *&\gamma^2I\end{bmatrix}>0. \tag{8}$$

同时,形如(3)式的控制器成为时滞系统(1)、(2)的广义 H_2 控制器.

引理 3 如下两种情况是等价的.

(Ⅰ)存在正定对称矩阵 $P>0$ 和 $R>0$,使得

$$\begin{bmatrix}PA_c+A_c^TP+R&PA_d&PB_1\\ *&-R&0\\ *&*&-I\end{bmatrix}<0. \tag{9}$$

(Ⅱ)存在正定对称矩阵 $Q>0,Z>0,V>0$,常量 $\delta>0$,适维矩阵 E,F,G,使得

$$\begin{bmatrix}EA_c^T+A_cE^T&Q-E+A_cF^T&A_dG&B_1&Q\\ Q-E^T+FA_c^T&-F-F^T+\delta V&0&0&0\\ G^TA_d^T&0&-G-G^T+Z&0&0\\ B_1^T&0&0&-I&0\\ Q&0&0&0&-Z\end{bmatrix}<0. \tag{10}$$

证明 (Ⅰ)⇒(Ⅱ).对(9)式做等价变换,左右两边乘以 $\begin{bmatrix}P^{-1}&0&0\\0&I&0\\0&0&I\end{bmatrix}$,并且令 $Q^{-1}=P,Z^{-1}=R$,化简得 $A_cQ+QA_c^T+QZ^{-1}Q+B_1B_1^T+A_dZA_d^T<0$,因此存在足够小的标量 $\delta>0$,满足 $A_cQ+QA_c^T+QZ^{-1}Q+B_1B_1^T+A_dZA_d^T+\delta A_cVA_c^T<0$.由引理1,上式可转化为

$$\begin{bmatrix}QA_c^T+A_cQ+QZ^{-1}Q+B_1B_1^T&\delta A_cV&A_dZ\\ \delta VA_c^T&-\delta V&0\\ ZA_d^T&0&-Z\end{bmatrix}<0.$$

令 $Q=E,F=\delta V,G=Z$,再应用引理1即可以得(10)式.

(Ⅱ)⇒(Ⅰ).应用引理1,(10)式等价于

$$\begin{bmatrix}EA_c^T+A_cE^T+QZ^{-1}Q+B_1B_1^T&Q-E+A_cF^T&A_dG\\ Q-E^T+FA_c^T&-F-F^T+\delta V&0\\ G^TA_d^T&0&-G-G^T+Z\end{bmatrix}<0.$$

由于矩阵 $[I\ A_c\ A_d]$ 满秩,则有

$$[I\ A_c\ A_d]\cdot\begin{bmatrix}EA_c^T+A_cE^T+QZ^{-1}Q+B_1B_1^T&Q-E+A_cF^T&A_dG\\ Q-E^T+FA_c^T&-F-F^T+\delta V&0\\ G^TA_d^T&0&-G-G^T+Z\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}I\\A_c^T\\A_d^T\end{bmatrix}<0.$$

化简整理得

$$A_cQ+QA_c^T+QZ^{-1}Q+B_1B_1^T+A_dZA_d^T+\delta A_cVA_c^T<0\Rightarrow A_cQ+QA_c^T+QZ^{-1}Q+B_1B_1^T+A_dZA_d^T<0.$$

上式左右两边同时乘以 Q^{-1},并且令 $Q^{-1}=P,Z^{-1}=R$,得 $PA_c+A_c^TP+R+PB_1B_1^TP+PA_dR^{-1}A_dP<0$.由引理1知,上式即为

$$\begin{bmatrix} PA_c + A_c^T P + R & PA_d & PB_1 \\ * & -R & 0 \\ * & * & -I \end{bmatrix} < 0.$$

所以(Ⅰ)和(Ⅱ)等价.

引理4　如下两种情况是等价的.

(Ⅰ)存在正定对称矩阵 $P > 0$ 使得

$$\begin{bmatrix} P & C_c \\ C_c^T & \gamma^2 I \end{bmatrix} > 0. \tag{11}$$

(Ⅱ)存在正定对称矩阵 $Q > 0$,适维矩阵 H,有

$$\begin{bmatrix} -I & C_c H^T & 0 \\ HC_c^T & -H-H^T & Q \\ 0 & Q & -\gamma^2 Q \end{bmatrix} < 0. \tag{12}$$

证明　(Ⅰ)⇒(Ⅱ).(11)式等价于 $C_c^T C_c - \gamma^2 P < 0$,由 Schur 补引理知,上式即为

$$\begin{bmatrix} -I & C_c \\ C_c^T & -\gamma^2 P \end{bmatrix} < 0.$$

令 $H = \frac{1}{\gamma^2}Q$,即可得到(12)式.

(Ⅱ)⇒(Ⅰ).应用引理1,(12)式等价于

$$\begin{bmatrix} -I & C_c H^T \\ HC_c^T & -H-H^T+\frac{1}{\gamma^2}Q \end{bmatrix} < 0.$$

由于矩阵$[I\ C_c]$满秩,则有

$$[I\ C_c]\begin{bmatrix} -I & C_c H^T \\ HC_c^T & -H-H^T+\frac{1}{\gamma^2}Q \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I \\ C_c^T \end{bmatrix} < 0,$$

上式化简整理得 $-I + \frac{1}{\gamma^2}C_c Q C_c^T < 0$.取 $Q^{-1} = P$,由引理1知,$\begin{bmatrix} -I & C_c \\ C_c^T & -\gamma^2 P \end{bmatrix} < 0$.再应用引理1可得 $C_c^T C_c - \gamma^2 P < 0$.即等价于矩阵不等式$\begin{bmatrix} P & C_c \\ C_c^T & \gamma^2 I \end{bmatrix} > 0$,所以(Ⅰ),(Ⅱ)是等价的.

2　主要结果

定理1　对于给定的常数$\gamma > 0$,闭环系统(4)、(5)具有指定的广义 H_2 性能,如果存在正定对称矩阵 $\{Q_j\}_{j=1,\cdots,N}$,$\{Z_j\}_{j=1,\cdots,N}$,V,常量 $\delta > 0$,适维矩阵 E,F,G,H 使得

$$\begin{bmatrix} EA_{ci}^T + A_{ci}E^T & Q_j - E + A_{ci}F^T & A_{di}G & B_{1i} & Q_j \\ Q_j - E^T + FA_{ci}^T & -F-F^T+\delta V & 0 & 0 & 0 \\ G^T A_{di}^T & 0 & -G-G^T+Z_j & 0 & 0 \\ B_{1i}^T & 0 & 0 & -I & 0 \\ Q_j & 0 & 0 & 0 & -Z_j \end{bmatrix} < 0, \tag{13}$$

$$\begin{bmatrix} -I & C_{ci}H^T & 0 \\ HC_{ci}^T & -H-H^T & Q_j \\ 0 & Q_j & -\gamma^2 Q_j \end{bmatrix} < 0, \tag{14}$$

其中 $A_{ci} = A_i + B_{2i}K, C_{ci} = C_i + D_i K, i = 1,\cdots,N$.

证明　考虑闭环系统(4)在$\omega(t) = 0$时渐近稳定性问题.选取参数依赖 Lyapunov 函数

$$V(x(t)) = x^T(t)\sum_{j=1}^N \mu_j P_j x(t) + \int_{t-\tau}^t x^T(s)\sum_{j=1}^N \mu_j R_j x(s)\mathrm{d}s,$$

其中,P_j,R_j 均为正定对称矩阵.则 $V(x(t))$ 沿闭环系统(4)对时间的导数为

$$\dot V(x(t)) = \sum_{j=1}^N \mu_j[\dot x^T(t)P_j x(t) + x^T(t)\cdot P_j\dot x(t) + x^T(t)R_j x(t) - x^T(t-\tau)R_j x(t-\tau)] = \sum_{j=1}^N \mu_j[x^T(t)A_c^T P_j x(t) + x^T(t-\tau)A_d^T P_j x(t) + x^T(t)P_j A_c x(t) + x^T(t)P_j A_d x(t-\tau) + x^T(t)R_j\cdot x(t) - x^T(t-\tau)R_j x(t-\tau)] = \sum_{j=1}^N \mu_j\{[x^T(t)x^T\cdot(t-\tau)]\begin{bmatrix} A_c^T P_j + P_j A_c + R_j & P_j A_d \\ A_d^T P_j & -R_j \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} x(t) \\ x(t-\tau) \end{bmatrix}\} = \sum_{j=1}^N \mu_j\{[x^T(t)x^T(t-\tau)]\cdot$$

$$\begin{bmatrix} (\sum_{i=1}^N \lambda_i A_{ci}^T)P_j + P_j(\sum_{i=1}^N \lambda_i A_{ci}) + R_j & P_j(\sum_{i=1}^N \lambda_i A_{di}) \\ (\sum_{i=1}^N \lambda_i A_{di}^T)P_j & -R_j \end{bmatrix}\cdot$$

$$\begin{bmatrix} x(t) \\ x(t-\tau) \end{bmatrix}\} = \sum_{j=1}^N \mu_j \sum_{i=1}^N \lambda_i\{[x^T(t)x^T(t-\tau)]\cdot\begin{bmatrix} A_{ci}^T P_j + P_j A_{ci} + R_j & P_j A_{di} \\ A_{di}^T P_j & -R_j \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x(t) \\ x(t-\tau) \end{bmatrix}\}.$$

由引理3知,(13)式等价于

$$\Xi_{ij} = \begin{bmatrix} P_j A_{ci} + A_{ci}^T P_j + R_j & P_j A_{di} & P_j B_{1i} \\ * & -R_j & 0 \\ * & * & -I \end{bmatrix} < 0. \tag{15}$$

由(15)式得 $\begin{bmatrix} A_{ci}^T P_j + P_j A_{ci} + R_j & P_j A_{di} \\ A_{di}^T P_j & -R_j \end{bmatrix} < 0$,因此,$\dot V(x(t)) < 0$.另一方面,由于 $0 < x^T(t)\sum_{j=1}^N \mu_j P_j x(t) \leqslant V(x(t))$.因此,闭环系统(4)是渐近稳定的.在零初始条件下,考虑性能指标 $J = V(x(t)) - \int_0^t \omega^T(s)\omega(s)\mathrm{d}s$,则对任意非零 $\omega(t) \in L_2[0,\infty)$ 及 $t \geqslant 0$,有

$$J = V(x(t)) - V(x(t))|_{t=0} - \int_0^t \omega^T(s) \cdot \omega(s)\mathrm{d}s = \int_0^t [\dot{V}(x(s)) - \omega^T(s)\omega(s)]\mathrm{d}s = \sum_{j=1}^N \mu_j \sum_{i=1}^N \lambda_i \{ \int_0^t [x^T(s) x^T(s-\tau)\omega^T(s)] \Xi_{ij} \begin{bmatrix} x(s) \\ x(s-\tau) \\ \omega(s) \end{bmatrix} \mathrm{d}s \}.$$

由 (15) 式知 $x^T(t)\sum_{j=1}^N \mu_j P_j x(t) \leqslant V(x(t)) < \int_0^t \omega^T(s)\omega(s)\mathrm{d}s$. 另外,由于(14) 式等价于

$$\begin{bmatrix} P_j & C_{ci} \\ C_{ci}^T & \gamma^2 I \end{bmatrix} > 0 \Rightarrow$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i \begin{bmatrix} P_j & C_{ci} \\ C_{ci}^T & \gamma^2 I \end{bmatrix} > 0 \Rightarrow$$

$$\begin{bmatrix} P_j & C_c \\ C_c^T & \gamma^2 I \end{bmatrix} > 0 \Rightarrow \sum_{j=1}^N \mu_j \begin{bmatrix} P_j & C_c \\ C_c^T & \gamma^2 I \end{bmatrix} > 0$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^N \mu_j P_j & C_c \\ C_c^T & \gamma^2 I \end{bmatrix} > 0 \Rightarrow C_c^T C_c < \gamma^2 \sum_{j=1}^N \mu_j P_j,$$

则有

$$z^T(t)z(t) = x^T(t)C_c^T C_c x(t) < \gamma^2 (x^T(t)\sum_{j=1}^N \mu_j P_j x(t)) < \gamma^2 \int_0^t \omega^T(s)\omega(s)\mathrm{d}s.$$

对所有的 $t \geqslant 0$ 取最大值,则对于任意非零 $\omega(t) \in L_2[0,\infty)$, $\| z(t) \|_\infty^2 < \gamma^2 \| \omega(t) \|_2^2$ 两边同时除以 $\| \omega(t) \|_2^2$ 并对所有的非零 $\omega(t) \in L_2[0,\infty)$ 取最大值,可得(6) 式.

定理 2 对于给定的常数 $\gamma > 0$ 时,系统(1)、(2) 存在形如(3) 式的鲁棒 $L_2 - L_\infty$ 状态反馈控制器的充分条件为存在正定对称矩阵 $\{Q_j\}_{j=1,\cdots,N}$, $\{Z_j\}_{j=1,\cdots,N}$, V, 常量 $\delta > 0$, 适维矩阵 E,G,W 使得

$$\begin{bmatrix} M & Q_j - E + A_i E^T + B_{2i} W^T & A_{di} G & B_{1i} & Q_j \\ Q_j - E^T + E A_i^T + W B_{2i}^T & -E - E^T + \delta V & 0 & 0 & 0 \\ G^T A_{di}^T & 0 & -G - G^T + Z_j & 0 & 0 \\ B_{1i}^T & 0 & 0 & -I & 0 \\ Q_j & 0 & 0 & 0 & -Z_j \end{bmatrix} < 0, \tag{16}$$

$$\begin{bmatrix} -I & C_i E^T + D_i W^T & 0 \\ E C_i^T + W D_i^T & -E - E^T & Q_j \\ 0 & Q_j & -\gamma^2 Q_j \end{bmatrix} < 0, \tag{17}$$

其中 $M = EA_i^T + A_i E^T + B_{2i} W^T + W B_{2i}^T$. 若上述的线性矩阵不等式有可行解$(W^*, E^*)$,则控制器增益 $K = W^{*T} E^{*-T}$.

注 1 由(16) 式和(17) 式可以发现,不等式中已将 Lyapunov 矩阵与系统矩阵进行了分离,从而降低了保守性.

注 2 由于(16) 式和(17) 式是关于标量 γ^2 的线性矩阵不等式组,因此可将 γ^2 作为一个优化变量,通过求解凸优化问题来得到最优扰动衰减水平.

3 数值实例

考虑凸多面体不确定时滞系统(1)、(2). 为了得到最优扰动衰减水平,将(17) 式改写成

$$\begin{bmatrix} -I & C_i E^T + D_i W^T & 0 \\ E C_i^T + W D_i^T & -E - E^T & Q_j \\ 0 & Q_j & -L_{ij} \end{bmatrix} < 0, \tag{18}$$

$$L_{ij} < \gamma^2 Q_j. \tag{19}$$

通过如下方法求解系统的最优扰动衰减水平.

$$\min_{Q_j, Z_j, E, G, W, V, L_{ij}, \delta} \sigma$$

s. t. (16) 式,(18) 式和(19) 式,$\forall\, i,j = 1,\cdots, N$, (20)

其中 L_{ij} 是正定对称矩阵,$\sigma = \gamma^2$. 若有可行解(W^*, E^*, σ^*),则最优衰减水平为 $\gamma^* = \sqrt{\sigma^*}$,$\sigma^*$ 为 σ 的最优值,此时控制器增益 $K = W^{*T} E^{*-T}$.

已知

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0.25 & -0.11 & 0.5 \\ 0.26 & 0.3 & -0.25 \\ 0.4 & 0.4 & -1.0 \end{bmatrix}, A_{d1} = \begin{bmatrix} 0.45 & -0.1 & -0.1 \\ 0.65 & 0.85 & 0 \\ 0.1 & 0.45 & -0.3 \end{bmatrix}, B_{11} = \begin{bmatrix} 0.14 \\ -0.1 \\ -0.2 \end{bmatrix}, B_{21} = \begin{bmatrix} 1.2 & 0.25 \\ 0.6 & 1.1 \\ 0.2 & 0.6 \end{bmatrix}, C_1 = \begin{bmatrix} -1.3 & 0.7 & 0.25 \\ -0.8 & 0.1 & 0.5 \end{bmatrix}, D_1 = \begin{bmatrix} -0.35 & 0.7 \\ 0.14 & 0.2 \end{bmatrix};$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.21 & 0.2 \\ 0.16 & 0.3 & -0.15 \\ 0 & 0.1 & -2.55 \end{bmatrix}, A_{d2} = \begin{bmatrix} 0.55 & -0.2 & -0.3 \\ 0.65 & 0.85 & 0.23 \\ 1.10 & 0.45 & -0.5 \end{bmatrix}, B_{12} = \begin{bmatrix} -0.14 \\ 0.3 \\ 0.2 \end{bmatrix}, B_{22} = \begin{bmatrix} 1.5 & 0.6 \\ 0.45 & 2.0 \\ -0.4 & 0.6 \end{bmatrix}, C_2 = \begin{bmatrix} 1.1 & 1.2 & 0.12 \\ -0.6 & 0.5 & 0.2 \end{bmatrix}; D_2 =$$

$\begin{bmatrix} 0.5 & -0.2 \\ 1.2 & 0.8 \end{bmatrix}$.

利用gevp求解器,求得闭环系统具有最优的扰动衰减水平 $\gamma^*_{\min} = 0.8184$,

$$W^* = \begin{bmatrix} -0.3970 & 0.2088 \\ 0.2652 & -0.5652 \\ -0.2211 & -0.1719 \end{bmatrix}, E^* = \begin{bmatrix} 0.3319 & -0.1390 & -0.0420 \\ -0.1574 & 0.4651 & 0.0490 \\ -0.0355 & 0.4696 & 1.0303 \end{bmatrix}.$$

此时系统的鲁棒广义 H_2 控制器为

$$K = W^{*T} E^{*-T} = \begin{bmatrix} -1.1495 & 0.2186 & -0.3539 \\ 0.1773 & -1.1956 & 0.3842 \end{bmatrix}.$$

注3 由文献[4]中的方法无法求得本文数值实例的最优扰动衰减水平(在Matlab中的运行结果为:could not establish feasibility nor in feasibility),由此可见,本文所提出的方法具有较小的保守性.

参考文献:

[1] Wilson D A. Convolution and hankel operator norms for linear systems [J]. IEEE Trans Automatic Control, 1989,34(1):94-97.

[2] 刘宏亮,樊丽颖,段广仁.线性时滞系统的鲁棒广义 H_2 弹性控制[J].电机与控制学报,2008,12(2):213-217.

[3] Rotea M A. The generalized H_2 control problem[J]. Automatica,1993,29:373-385.

[4] 高会军,王常虹,李艳辉.时滞不确定系统的广义 H_2 控制[J].电机与控制学报,2002,6(4):328-332.

[5] Dong Y,Lam J. Suboptimal robust mixed H_2/H_∞ controller design for uncertain descriptor systems with distributed delays[J]. Computers & Mathematics with Applications,2004,47(2):1041-1055.

[6] Xiang Z,Chen Q,Hu W. Robust mixed H_2/H_∞ control for uncertain singular systems with state delay [J]. Control and Intelligent Systems,2006,34(2):119-124.

[7] Fridman E,Shaked U. Parameter dependent stability and stabilization of uncertain time-delay systems[J]. IEEE Transactions on Automatic Control,2003,48(5):861-866.

[8] Xia Y Q,Jia Y M. Robust control of state delayed systems with polytopic type uncertainties via parameter-dependent Lyapunov functionals[J]. Systems & Control Letters,2003,50:183-193.

(责任编辑:尹 闯)

基因外显子测序方法同样可以准确找出致病基因

外显子是人类基因的一部分,包含着合成蛋白质所需要的信息。全部外显子,称为“外显子组”(exome),只占人类基因组的1%。测定外显子序列只需针对外显子区域的DNA即可,因此远比进行全基因组序列测序更简便、经济,已成为现阶段基因测序工作的重心。

为了验证外显子测序的实用性,研究人员选取12名测序对象进行外显子测序,其中8人(4个非洲约鲁巴人、2个东亚人、2个欧裔美国人)的DNA图谱已由国际人类基因组单体图计划确认;另4人无亲缘关系,同为弗里曼谢尔登综合征患者,该症是由MYH3基因变异引起的一种罕见遗传性疾病。引入这4人参与测序的目的,就是确认外显子测序是否能检测到他们DNA中的MYH3基因突变。

研究人员首先将12个基因组DNA样本制成片段,再使用特殊探针选出其中仅含有外显子的片段进行外显子组的测序和分析,总计确定3亿个DNA序列碱基,这是到目前为止使用第二代测序技术获取的人类基因编码序列的最大数据。与常用的人类基因组测序相比,外显子测序在检测基因变异方面,无论是普通变异还是罕见变异,都表现出很高的灵敏度。通过这种测序,研究人员能够识别出一系列DNA错拼,如单核苷酸多态性变异(SNPs),以及基因序列的插入和删除。

研究人员还采用多步骤分类检测法滤掉普通变异和个人独具的变异后,研究人员从4名弗里曼谢尔登综合征患者的DNA中准确找出了致病基因变异。研究表明,对于单个基因变异引起的疾病,外显子测序同样可以准确找到致病基因,与全基因组测序无异。这说明,外显子测序也可用以于多重基因变异引起的常见疾病,如糖尿病和癌症的研究中,来揭示该种疾病的致病基因。

(据科学网)