

基于LPV增益调度技术的风机主动容错控制

吴定会^{1†}, 李意扬¹

(1. 江南大学 物联网工程学院, 江苏 无锡 214000)

摘要: 针对风能转换系统具有非线性和参数的不确定性, 提出了基于LPV增益调度的风能转换系统的主动容错控制方法, 解决故障对风力机组带来的不稳定性问题。基于LPV凸分解方法, 将风能转化系统非线性模型化为具有凸多面体结构LPV模型, 利用LMI技术对凸多面体各个顶点分别设计 H_∞ 控制器, 再利用各顶点设计的反馈控制器得到具有凸多面体结构LPV容错控制器。仿真结果表明, LPV增益调度技术可以成功地应用于风能转换系统的容错控制。

关键词: 风能转换系统; 主动容错控制; LPV增益调度技术; 凸分解

中图分类号: TK81 **文献标识码:** A

Active Fault-Tolerant LPV Control of Wind Turbines

WU Ding-hui^{1†}, LI Yi-yang¹

(1. School of Internet of Things, Jiangnan University,
Wuxi Jiangsu 214112, China)

Abstract: According to the pitch actuator fault of WECS (Wind Energy Conversion System) has nonlinear properties and uncertain parameters, an active fault tolerant control technology of WECS was proposed to resolve the dynamic stability problems of the wind turbines, which based on the LPV gain scheduling technology. The linearized model around the operating point of wind turbine and fault were converted into convex polyhedron structure LPV model by using LPV convex decomposition method. Then each vertex of convex polyhedron was designed to meet the H_∞ performance by using LMIs (linear matrix inequalities). All the vertex gain were synthesized to get LPV controller with convex polyhedron structure. The simulation result shows that the LPV active fault tolerant controller could be applied to the WECS successfully.

Key words: WECS; active fault tolerant control; LPV gain scheduling technology; convex decomposition

1 引言(Introduction)

《控制理论与应用》(中文刊)主要报道系统控制科学中具有新观念、新思想的理论研究成果及其在各个领域中, 特别是高科技领域中的应用研究成果和在国民经济有关领域技术开发、技术改造中的应用成果。设置的栏目主要有: 长论文, 综述与评论, 论文, 短文等, 稿件一经录用作者需按照本刊所提供的LaTeX模版进行排版。本文针对排版中一些常见问题做以下说明:

- 1) 标点符号: 文中的所有标点符号均采用英文状态下的符号, 且其后空一格。
- 2) 论文题目: 题目一般不超过20个字, 文字简练、具体, 尽量避免“基于...”“...的研究”之类修饰性词语。英文题目第1个单词的首字母大写, 其他均用小写。
- 3) 摘要: 摘要一般应包括研究目的、研究过程采用的主要方法、研究的主要结果和结论4大部分, 同

时要注意摘要的完整性、可读性、通俗性和逻辑性, 英文摘要在150~250个词汇, 第1次出现缩写必须给出全称。

4) 关键词: 关键词一般3~8个, 英文关键词每个字母均为小写。

5) 标题: 文章标题一般包含一级标题、二级标题甚至三级标题等, 例如: 2; 2.1; 2.1.1等, 每一级标题必须给出相应的英文翻译, 且英文部分除第1个字母大写外其余均为小写。

6) 数学符号: 数学符号需用公式环境, 且与前后的文字之间没有空格, 如: 函数 a, n, R 等。

7) 插图: 文章中的图应以.eps的格式插入, 且图中的有关说明应用中文, 需要给出相应坐标的变量及单位。图的标题应该有中英文两种形式, 标题在图的正下方, 例子见第4节。

8) 表格: 表格统一要求三线表(即: 表格中没有竖线, 只有三条横线(特殊情形可以为两条等), 且中

英文标题在表格的正上方. 例子见第5节.

9) 参考文献: 文章中的参考文献的引用应该按从小到大的顺序, 例如:

期刊中的文章见文献 [2561b@1, 5122b@2], 会议中的论文见文献 [7683b@3], 研究生论文一般只引用博士论文^[10244b@4], 也可以这样引用^[2561b@1, 10244b@4, 12805b@5, 15366b@6].

文章中引用参考文献时, 应该用上段所用的方式引用, 即: 平齐时用命令\cite{...}, 上标时用\textsuperscript{\cite{...}}.

2 应用环境(Environment)

定理 1 应用这个环境, 定理编号将自动生成.

引理 1 应用这个环境, 引理编号将自动生成.

推论 1 应用这个环境, 推论编号将自动生成.

定义 1 应用这个环境, 定义编号将自动生成.

假设 1 应用这个环境, 假设编号将自动生成.

注 1 注释内容是小五宋体.

此定理的证明可以通过以下步骤形成:

步骤 1 首先, 假设...

步骤 2 其次, 证明...

步骤 3 最后, 得到...

3 公式的例子(Examples of equations)

3.1 公式的应用环境(Environment of equations)

公式请用环境

\begin{eqnarray}...\end{eqnarray}

或者

\begin{eqnarray*}...\end{eqnarray*}

生成.

3.2 几个实例(Examples)

例 1

$$\|x_{k+1}^{(1)} - x_k^{(1)}\|_\lambda \leq \frac{1}{1 - h_1(i)} \|x_{k+1}^{(1)}(0) - x_k^{(1)}(0)\| + \frac{h_2(i)}{1 - h_1(i)} \|e_k^{(1)}\|_\lambda + \rho(Q), \quad (1)$$

以及

$$\begin{cases} \dot{x}(t) \sum_{i=0}^{2n_x} = A^c x(t) + B^c u(t) + E^c d(t), \\ z(t) = C^c x(t). \end{cases} \quad t \in \mathbb{R}^+ \quad (2)$$

例 2 几种不同的情况.

1) 省略了矩阵中部分元素的例子.

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

2) 矩阵中小数点对齐的例子.

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & -2 \\ -2 & 4 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1.1 & -2.7 \\ -2.3 & 4.6 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

3) 调整公式字体大小的特例.

用命令\displaystyle 可以调整在文字中过小的公式. $f(z) \approx \frac{1 + \frac{1}{2}z + z^2 + \frac{1}{2}z^3}{1 - \frac{1}{2}z + z^2}$. 类似前面这样的例子.

用命令\textstyle 可以调整公式中过大的情况. 如下:

$$\begin{aligned} & z^T(t) \{A_q^T [P(t) + I] A_q - [P(t) + I]\} z(t) + \\ & \sum_{i=1}^m \int_{t-\tau_i}^t z^T(s) \{A_q^T A_q - I\} z(s) ds \leq 0. \end{aligned} \quad (6)$$

4) 公式的编号问题.

有些地方对于公式的编号需要子公式编号, 也就是说, 当这个环境之前的公式编号是(6)时, 那么此环境中的公式按照(7a), (7b), (7c), ... 的顺序编号.

$$\dot{x}(t) = A_i x_t(0) + A_{i1} x_t(-r), t \geq t_0. \quad (7a)$$

在第1个子公式和第2个子公式之间可以添加文字内容.

$$\begin{aligned} s := & \{(t_0, \pi(0)), \cdots (t_k, \pi(k)), \cdots | \\ & t_i < t_j, i < j; \lim_{k \rightarrow \infty} t_k = \infty\}. \end{aligned} \quad (7b)$$

在第2个子公式和第3个子公式之间同样可以添加文字内容.

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = A_i x_t(0) + A_{i1} x_t(-r), \\ y(t) = C_i x_t(0); t \geq t_0, i \in \{1, 2\}, \end{cases} \quad (7c)$$

4 插图(Figures)

Latex对于图形的要求: 对于一般的图形, 只需要用软件Acrobat Reader打开, 然后另存为.eps即可, 再利用下面的环境插入图形即可. 图形的位置由命令中“trim=0 0 0 0”来控制, 可以通过修正其中的4个参数来移动图形的位置. 所给出的4个数字分别表示从图形的左边缘、下边缘、右边缘、上边缘被截去的值, 正数表示从边缘截去的大小, 而负数表示从边缘加上的大小.

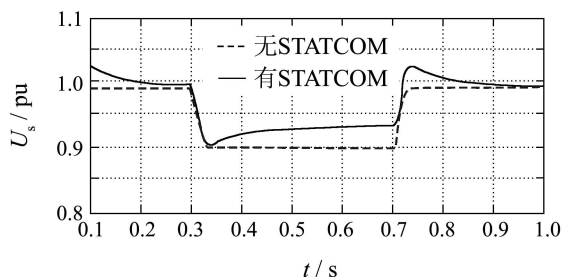


图 1 图形标题

Fig. 1 Title of figure

5 表格(Tables)

表 1 模糊控制规则

Table 1 Fuzzy control rules

e	Δe						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NM	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NS	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB

参考文献(References):

- [1] ARIMOTO S, KAWAMURA S, MIYAZAKI F. Bettering operation of robotics by learning[J]. *Journal of Robotic System*, 1984, 12(2):

123 – 140.

- [2] YAO Zhongshu, WANG Hongfei, YANG Chengwu. A sort of iterative learning control algorithm for tracking of robot trajectory[J]. *ACTA Armamentaria*, 2004, 25(3): 330 – 334.
(姚仲舒, 王宏飞, 杨成梧. 一种机器人轨迹跟踪的迭代学习控制方法[J]. *兵工学报*, 2004, 25(3): 330 – 334.)
- [3] DOGRUEL M, OZGUNZER U. Stability of hybrid systems[C] // *Proceedings of IEEE International Symposium on Intelligent Control*. New York: IEEE, 1994, 8: 129 – 134.
- [4] LI B. *The main algorithm research on financial time series data mining*[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2001.
- [5] WANG R X. *Random Process*[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1993.
- [6] HAYKIN S, BROCKETT R W. *Adaptive filtering theory*[M] // *Essays in Control*. New York, American: Prentice Hall, 1996.

附录 附录标题(Appendix Title of appendix)

附录内容.

作者简介:

张 三 (1961—), 男, 作者简历, 目前研究方向, E-mail: zhangsan@sina.com.cn;

李某某 (1958—), 女, 作者简历, 目前研究方向, E-mail: lim-m@sina.com.cn.