

偏心结构地震反应的模糊控制

邓 林

(黄山学院 建筑系,安徽 黄山 245041)

摘 要:针对 MR 阻尼器控制系统的特点,提出了一种基于遗传算法的模糊控制器设计方法。将多目标遗传算法 NSGA-II 和模糊控制技术相结合,利用 NSGA-II 来生成最优的模糊控制规则,并通过一个 2 层偏心结构的仿真分析,证明了该方法的有效性。

关键词:偏心结构;MR 阻尼器;结构控制;模糊控制;遗传算法

中图分类号:TU315.1

文献标识码:A

文章编号:1672-447X(2010)03-0076-05

结构在地震作用下,除了发生平移振动外,有时还会发生扭转。引起扭转的因素主要有两个,一是地面运动中存在着扭转分量,二是结构本身的不对称,即结构的质量中心和刚度中心不重合。扭转作用会加重结构的破坏,在某些情况下甚至会成为结构破坏的主要因素。MR 阻尼器是一种性能优良的半主动控制装置,在结构中安装 MR 阻尼器可以有效地减小结构的地震反应。^[1,2]本文利用 MR 阻尼器对一偏心结构实施控制。MR 阻尼器的减震效果很大程度上取决于阻尼器的控制策略,也就是电流或电压的控制算法。本文将多目标遗传算法 NSGA-II 和模糊控制方法相结合,利用 NSGA-II 来寻找最优的模糊控制规则,设计模糊控制器。数值实验结果表明,所设计出的模糊控制器具有良好的控制效果。

1 MR 阻尼器半主动控制系统

为研究 MR 阻尼器的控制效果,以一个两层的单向偏心结构为计算模型。^[3]如图 1 所示,每层楼板由 6 根柱子,其中一侧 4 根,一侧 2 根,以形成刚度的不对称。在底层安装有两个 MR 阻尼器,对结构进

行控制。

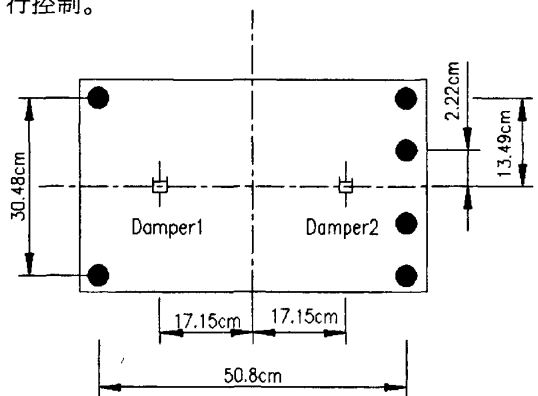


图 1 计算模型结构布置图

在一维水平地震作用下,该结构的运动方程为

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = -M\Lambda\ddot{x}_g + \Gamma f \quad (1)$$

其中

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & & & & & \\ & m_2 & & & & \\ & & J_1 & & & \\ & & & J_2 & & \\ & & & & & \\ & & & & & \end{bmatrix}$$

收稿日期:2010-02-28

基金项目:黄山学院科研基金资助(2008xkj003)

作者简介:邓 林(1980-),安徽宿松人,黄山学院建筑系教师,硕士,主要从事结构振动控制方面研究。

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ 0 & 0 \\ e & -e \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$K = \begin{bmatrix} 2k_x & -k_x & 2k_{x\theta} & -k_{x\theta} \\ -k_x & k_x & -k_{x\theta} & k_{x\theta} \\ 2k_{x\theta} & -k_{x\theta} & 2k_\theta & -k_\theta \\ -k_{x\theta} & k_{x\theta} & -k_\theta & k_\theta \end{bmatrix}.$$

结构 4 个振型的阻尼比为:

$$h_e = [0.44 \quad 0.26 \quad 0.18 \quad 0.12]\%$$

(1)式中各个参数的具体数值为:

$$m_1 = 0.272\text{N}/(\text{cm}/\text{sec}^2),$$

$$m_2 = 0.241\text{N}/(\text{cm}/\text{sec}^2),$$

$$J_1 = 75.95\text{N}\cdot\text{cm}/(\text{rad}/\text{sec}^2),$$

$$J_2 = 62.55\text{N}\cdot\text{cm}/(\text{rad}/\text{sec}^2), k_x = 212.0\text{N}/\text{cm},$$

$$k_{x\theta} = 1.62 \times 10^3 \text{N}, k_\theta = 1.37 \times 10^5 \text{N}\cdot\text{cm}.$$

取状态变量

$$Z = [x \quad \dot{x}]^T,$$

则该系统的状态方程为

$$\dot{Z} = AZ + Bu + F\ddot{x}_g \quad (2)$$

其中

$$A = \begin{bmatrix} 0 & E \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}G \end{bmatrix},$$

$$F = \begin{bmatrix} 0 \\ -\Lambda \end{bmatrix}, u = [f_1 \quad f_2]^T.$$

MR 阻尼器的计算模型采用修正的 Bouc-Wen 模型(如图 2),其阻尼力由如下控制方程给出。

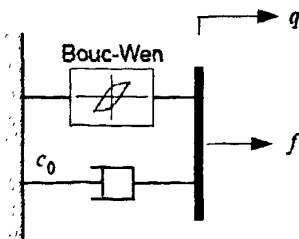


图 2 修正的 Bouc-Wen 模型

$$f = c_0 \dot{q} + \alpha z \quad (3)$$

$$\dot{z} = -\gamma |\dot{q}| z |z|^{n-1} - \beta \dot{q} |z|^n + A \dot{q} \quad (4)$$

其中 $\alpha = \alpha(u) = \alpha_a + \alpha_b u$,

$$c_0 = c_0(u) = c_{0a} + c_{0b} u, \dot{u} = -\eta(u - v)$$

各参数取值为 $\alpha_a = 13.8\text{N}/\text{cm}$,

$$\alpha_b = 62.1\text{N}/(\text{cm}\cdot\text{V}), c_{0a} = 0.454\text{N}\cdot\text{sec}/\text{cm},$$

$$c_{0b} = 0.195\text{N}\cdot\text{sec}/(\text{cm}\cdot\text{V}), n = 1, A = 12,$$

$$\gamma = 30\text{cm}^{-1}, \beta = 30\text{cm}^{-1}, \eta = 80\text{sec}^{-1}.$$

2 基本模糊控制器的设计

基本模糊控制器采用 Mamdani 型模糊推理系统。为便于实现分散控制,对两个 MR 阻尼器分别设计两个独立的模糊控制器 FLC1 和 FLC2,两个基本模糊控制器的参数如下:

1. 输入、输出变量和模糊论域

输入选用阻尼器活塞相对缸体的位移和速度,位移和速度的模糊论域为 $[-2, 2]$,输出为控制电压,电压的模糊论域为 $[0, 2]$ 。

2. 量化因子和比例因子

量化因子和比例因子通过试算确定。首先分别在 Passive-off 和 Passive-on 的情况下运行仿真模型,得到两个输入的时程曲线,观察曲线,确定量化因子,使输入基本处于模糊论域内。在 FLC1 中,位移的量化因子为 100,速度的量化因子为 4。在 FLC2 中,位移的量化因子为 200,速度的量化因子为 5,比例因子都取 1。

3. 模糊集合和隶属函数

两个模糊控制器采用相同的模糊集合和隶属函数。位移和速度均划分为 5 个等级,即 5 个模糊子集,控制电压划分为 3 个模糊子集。隶属函数采用 Gauss 型隶属函数,如图 3 所示。

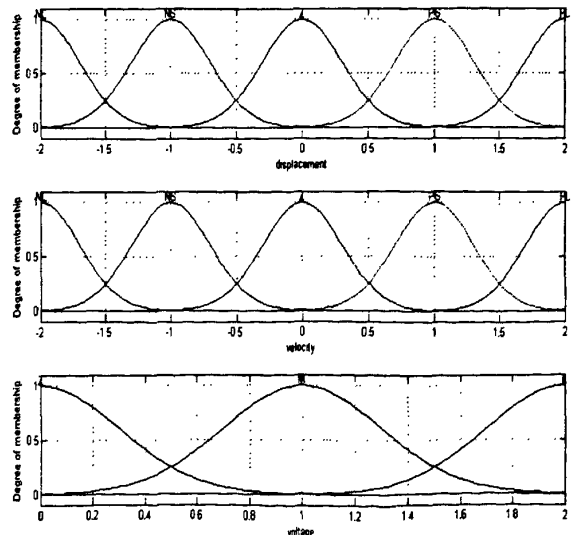


图 3 隶属函数

3 NSGA-II 方法

NSGA-II^[9]是一种基于遗传算法的多目标方法,和其他常用的几种多目标遗传算法如 PEA, SPEA 等相比,具有更快的计算速度,得到的 Pareto 最优解分布也更为均匀。NSGA-II 的操作流程如图 4 所示。

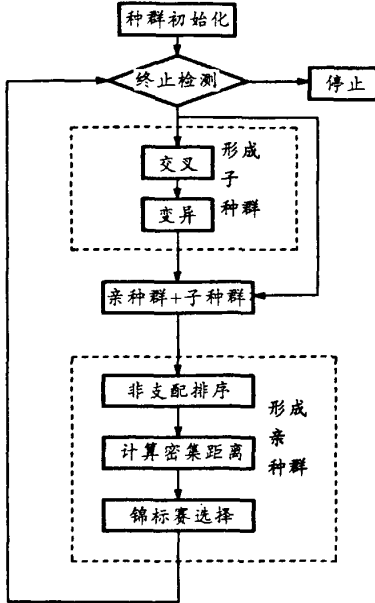


图 4 NSGA-II 操作流程

4 模糊控制器的多目标优化

4.1 优化目标

为了同时达到对位移、转角和加速度的较好控制,选用以下 3 个标准化的目标函数:

$$J_1 = \max \left\{ \frac{\max_t |a_i^{*控}|}{\max_t |d_i|} \right\} \quad i=1,2,3$$

$$J_2 = \max \left\{ \frac{\max_t |\theta_i^{*控}|}{\max_t |\theta_i|} \right\} \quad i=1,2,3$$

$$J_3 = \max \left\{ \frac{\max_t |a_i^{*控}|}{\max_t |a_i|} \right\} \quad i=1,2,3$$

d_i, θ_i, a_i 分别表示第 i 层的层间位移、层间转角和形心处的绝对加速度,计算目标函数时所使用的地震波选用文献^[9]中的人工波,该人工波中包含大量强震记录中的频谱成份,使用该人工波可使优化得到的结果具有较好的鲁棒性。

4.2 编码方式

每条规则的输出有 3 种可能,分别用整数 1、2、3 代表 3 个输出。编码采用实数编码,在进行目标函数的计算前做取整操作。两个模糊控制器共有 50 条规则,所以染色体的长度为 50,每个基因取值范围为 (0.5, 3.5)。染色体的构成如下:

$$V_1 \| V_2 \dots V_{25} \dots V_{50} \quad V \in (0.5, 3.5)$$

前 25 个基因对应 FLC1 中 25 条控制规则的输出,后 25 个基因对应 FLC2, 每条染色体就对应两个确定的模糊控制器。

4.3 优化结果

取种群大小为 200,交叉概率为 0.9,变异概率为 0.1,进化 200 代后得到的种群分布如图 5 所示。

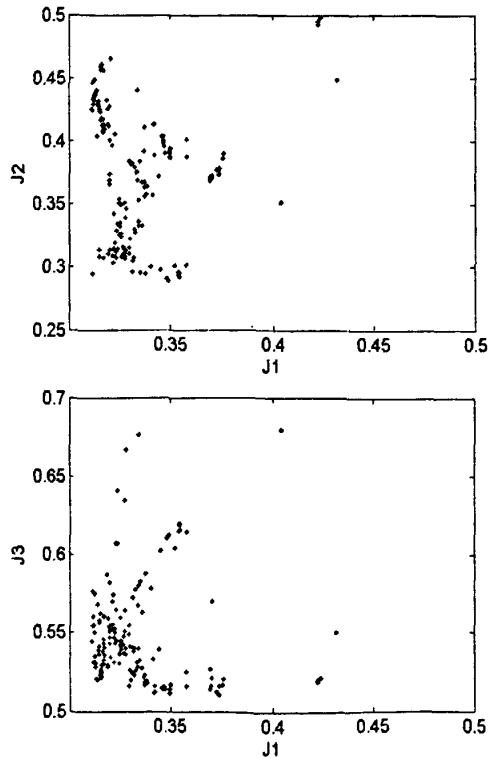


图 5 进化 200 代种群分布

观察种群分布,人工从中选取一个 3 个目标函数均较小的解作为优化结果,对应的模糊控制规则如表 1。

表 1

x	NL	NS	Z	PS	PL
NL	Z	Z	M	L	M
NS	Z	Z	Z	Z	Z
Z	L	M	L	L	L
PS	M	L	L	M	L
PL	M	M	Z	Z	M

续表

x	NL	NS	Z	PS	PL
NL	M	Z	Z	L	M
NS	Z	Z	M	Z	Z
Z	L	M	L	M	Z
PS	M	M	L	Z	Z
PL	Z	Z	M	M	Z

解模糊采用常用的重心法,解模糊后得到的模糊推理曲面如图 6,图 7 所示。

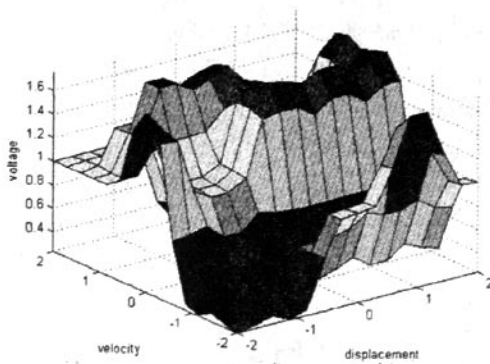


图 6 FLC1 模糊推理曲面

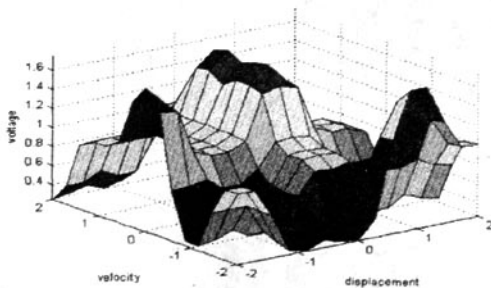
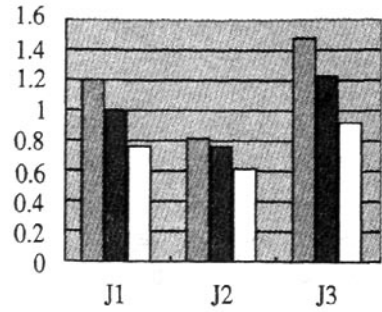


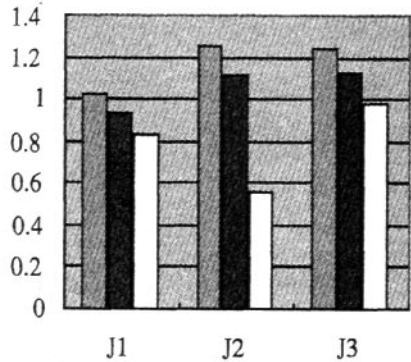
图 7 FLC2 模糊推理曲面

利用优化得到的模糊控制器对结构进行控制,在 4 种不同地震波作用下比较模糊控制和 Passive-on 控制及 Clipped-LQR 控制的控制效果,结果如图 8 所示。

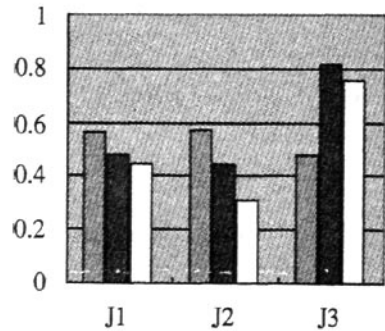
万方数据



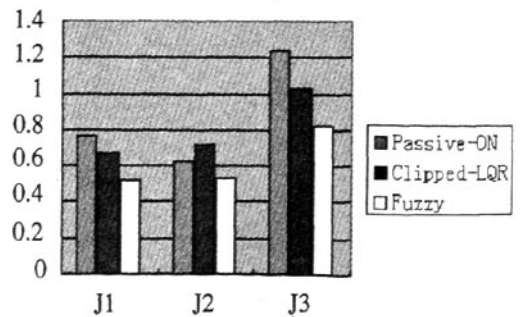
El Centro 波



Northridge 波



Kobe 波



Hachinohe 波

图 8 控制效果比较

观察仿真结果可以发现,模糊控制的效果明显优于被动控制,在某些指标上甚至优于 LQR 控制。

5 结 论

本文针对一个安装有 MR 阻尼器的偏心结构,提出了一种基于遗传算法的模糊控制器设计方法,由多目标遗传算法 NSGA-II 优化生成模糊控制规则。建立了结构反应和 MR 阻尼器控制电压之间的关系,对结构实施半主动控制。仿真结果表明,所设计的模糊控制器在不同地震波作用下均有较好的控制效果,优于被动控制和 LQR 控制,有效地提高了 MR 阻尼器的控制效率。

参考文献:

[1] Dyke S J. Current directions in structural control in US [C]. 9th World Seminar on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures, Kobe, Japan,

2005:13-16.
 [2] Jansen L M, Dyke S J, Frech S et al. Semi-active control strategies for MR dampers: a comparative study [J]. Journal of Engineering Mechanics, 2000, 126(8): 795-803.
 [3] O Yoshida, S J Dyke, L M Giacomosa et al. Experiment verification of torsional response control of asymmetric buildings using MR dampers [J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2003, 32(13): 2085-2105.
 [4] Deb K, Pratap A, Agrawal S et al. A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II [J]. IEEE Trans Evolut Comput, 2002, 6(2): 182-197.
 [5] Shook DA, Roschke P N, Lin P Y et al. GA-optimized fuzzy logic control of a large-scale building for seismic loads [J]. Engineering Structure, 2007, 30(2): 436-449.

责任编辑:胡德明

Fuzzy Control of Asymmetric Structures under Earthquake Excitation

Deng Lin

(Department of Architecture, Huangshan University, Huangshan 245041, China)

Abstract: MR dampers are a new class of semi-active control devices which have many attractive features and have been widely used in structure control. A strategy based on genetic algorithm (GA) to design fuzzy controller of MR dampers is presented. This strategy combines the Multi-Objective GA NSGA-II and fuzzy control technology. NSGA-II is employed to design and optimize the fuzzy rules. The effectiveness of this strategy is proved by a stimulation analysis of a 2-story asymmetric structure equipped with MR dampers on the first floor.

Key words: asymmetric structure; MR damper; structure control; fuzzy control; genetic algorithm

偏心结构地震反应的模糊控制

作者: [邓林, Deng Lin](#)
 作者单位: [黄山学院建筑系, 安徽, 黄山, 245041](#)
 刊名: [黄山学院学报](#)
 英文刊名: [JOURNAL OF HUANGSHAN UNIVERSITY](#)
 年, 卷(期): 2010, 12(3)
 被引用次数: 0次

参考文献(5条)

1. [Dyke S J](#) [Current directions in structural control in US](#) 2005
2. [Jansen L M](#), [Dyke S J](#), [Frech S](#) [Semi-active control strategies for MR dampers: a comparative study](#) 2000(8)
3. [O Yoshida](#), [S J Dyke](#), [L M Giacosa](#) [Experiment verification of torsional response control of asymmetric buildings using MR dampers](#) 2003(13)
4. [Deb K](#), [Pratap A](#), [Agrawal S](#) [A fast elitist nondominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II](#) 2002(2)
5. [Shook DA](#), [Roschke P N](#), [Lin P Y](#) [GA-optimized fuzzy logic control of a large-scale building for seismic loads](#) 2007(2)

相似文献(6条)

1. 学位论文 [邓林](#) 基于磁流变阻尼器的建筑结构地震反应模糊控制 2008

磁流变(MR)阻尼器是一种性能优良的半主动控制装置,在结构中安装阻尼器可以有效地减小结构的地震反应。但半主动控制不同于主动控制,目前还没有适用于MR阻尼器半主动控制系统的最优理论。本文以MR阻尼器的智能控制算法为方向,进行了以下几个方面的研究:

- (1)回顾了结构控制发展的历史,对MR阻尼器的研究和应用进行了总结。
- (2)将遗传算法和模糊逻辑相结合,提出了一种半主动控制的遗传-模糊方法。该方法由人工来划分模糊子集,多目标遗传算法NSGA-II来产生最优的控制规则。
- (3)对一个安装有MR阻尼器的三层结构进行仿真分析。结果表明,所提出的方法在不同地震波作用下都有很好的减震效果,明显优于被动控制,与Clipped-LQR方法接近。
- (4)对一个安装有两个阻尼器的偏心结构进行仿真分析。结果表明,所提出的方法同样适用于对偏心结构的控制,对偏心结构实施半主动控制可以减小结构偏心所带来的危害。

2. 期刊论文 [李秀领](#), [姜爱玲](#), [LI Xiu-ling](#), [JIANG Ai-ling](#) 基于结构扭转反应控制的MR阻尼器位置研究 - [山东建筑大学学报](#) 2010, 25(3)

提出采用磁流变阻尼器MR控制钢筋混凝土框架-剪力墙偏心结构的扭转反应,并分析影响因素及规律。采用Matlab/Simulink工具进行数值仿真实验,分析MR阻尼器的控制策略、MR阻尼器数量以及竖向布置、水平布置等因素对偏心结构扭转反应控制效果的影响。结果表明:MR阻尼器能够有效控制偏心结构的扭转反应,其中半主动控制策略可以取得较稳定的控制效果,MR阻尼器数量和位置对结构扭转反应的控制效果具有较大影响。

3. 学位论文 [常治国](#) 智能算法在MR阻尼器半主动控制中的应用研究 2003

该文的研究内容属于工程抗震领域中结构振动控制研究方向之一,即结构振动智能控制的研究。结构振动控制的研究包括控制装置和控制策略两部分。该文的控制装置采用磁流变阻尼器,控制策略采用了神经网络和微种群遗传算法等智能控制算法。全文共分为五章。在第一章中,介绍了结构控制的概念、分类以及各种控制方式的特点;对结构振动控制智能算法中典型的神经网络和遗传算法的研究现状进行了详细讨论。在第二章中,利用MATLAB中的仿真工具Simulink和C++语言,解决了结构振动控制数值仿真的建模问题。在第三章中,介绍了神经网络和遗传算法的基本理论。第四章,以6层偏心结构为例,以磁流变阻尼器作为控制装置,讨论了半主动控制的计算实例。第五章对该文工作进行总结,归纳出了该文的主要结论,并给出了今后的研究方向。

4. 期刊论文 [李秀领](#), [李宏男](#), [LI Xiu-ling](#), [LI Hong-nan](#) MR阻尼结构振动控制的仿真试验研究 - [系统仿真学报](#) 2006, 18(5)

基于Matlab/Simulink软件平台,结合dSPACE实时仿真系统的软硬件资源,建立磁流变阻尼器(Magnetorheological Damper,简称MR 阻尼器)和框架-剪力墙偏心结构试验控制系统仿真模型,采用RCP技术对此结构模型进行地震反应振动台试验。试验结果表明,MR阻尼结构的振动受到很好抑制,Matlab/dSPACE综合试验环境是高效简洁的。

5. 期刊论文 [李宏男](#), [李学涛](#), [霍林生](#), [LI Hong-nan](#), [LI Xue-tao](#), [HUO Lin-sheng](#) 多维结构振动的改进MBC控制策略 - [振动工程学报](#) 2007, 20(4)

地震作用下,偏心结构将不可避免的产生平动-扭转耦联的空间振动。采用水平双向布置MR阻尼器的方法对偏心结构的多维振动进行控制,针对此控制系统,在现有MBC控制策略的基础上加以改进,建立多商品市场模型和计算理论,提出了改进MBC控制策略。“多商品”代表结构振动的多维性,通过市场中买卖双方的供求竞争达到MR阻尼器出力的合理分配。采用Matlab/Simulink实现控制系统的仿真模拟。对一双向水平地震作用下的6层偏心结构进行动力计算,比较了改进MBC算法和经典LQR算法的控制效果。

6. 学位论文 [李学涛](#) 基于市场机制的结构振动控制 2006

土木工程结构振动控制的研究和应用已经经历了30年的历史,理论和实际应用都取得了很大进展。随着结构控制技术的研究进展,半主动控制装置

的性能和价格都将降低,这使得以后的结构控制系统具有大量的作动器,控制系统趋于复杂化,将出现高维的大规模的控制系统。随着系统维数的增加,传统的集中式控制算法显现出了控制反应慢、鲁棒性差的隐患,分布式控制策略应运而生。一个典型的分布式控制系统就是市场经济系统。将结构控制系统离散化,用市场中的买卖双方模拟控制系统中被控结构和出力装置,建立供求关系,用市场机制有效而经济的将控制能量在离散系统中分配,这样一个现象性的模拟算法被称为基于市场机制的控制算法(MBC)。本文以此为背景,编写程序实现算法,并改进为多商品的市场模型,适应于偏心结构在地震和风荷载下的平动-扭转耦联振动控制,主要进行了一下几个方面的工作:

1. 总结回顾了基于市场机制算法的产生和发展。自由市场机制可以将市场中有限的资源合理有效的在社会中成员中分配,此现象不仅被经济学家深入研究,在工程领域也得到广泛的关注和应用。从起初的尝试性模拟,到概念的确定,再到土木工程结构振动控制领域的应用,本文概括了市场模型的数学表达和研究中存在的要点。

2. 采用Matlab/Simulink平台实现基于MBC算法,基于一个5层剪切型结构对一多参数的数学模型作了定性参数分析,分析了市场模型各个参数对控制效果和控制出力的影响,为论文后本部分工作打下基础。由于参数对控制变量的影响比较复杂,为了得到较好的控制效果采用遗传算法在多目标函数约束下进行优化。结果表明,合理的参数选择可以使MBC控制策略达到经典LQR控制策略的控制效果。

3. 针对偏心结构平动-扭转耦联振动控制需求,在现有市场机制控制策略的基础上建立多商品市场模型和计算理论,提出了改进市场机制控制策略(AdvancedMBC)。以一个6层偏心结构为算例,在结构每层沿两个主轴方向正交布置MR阻尼器。在三种场地条件的地震输入下进行了动力时程分析。结果表明,该改进市场机制算法对偏心结构的振动控制是有效的。

4. 采用AMBC算法,计算了12层柔性偏心高层结构的随机风荷载振动控制。同时,通过在失效问题上与LQR算法的控制结果分析表明,MBC算法作为一种分步的静态优化智能算法应用到土木工程结构控制领域,在算法实现上能够感知环境带来的变化,具有较强的鲁棒性。

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hsxxyb201003024.aspx

授权使用: 黄山学院学报(qkhsxy), 授权号: 7a95d78b-f60c-4a16-b3ff-9ebd00af4c83

下载时间: 2011年4月6日