

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2017.02.024

基于遗传算法和 .NET 平台的锥齿轮传动 优化设计系统研究^①

许德帮, 徐元浩, 迟文俊

西南大学 工程技术学院, 重庆 400715

摘要: 针对锥齿轮传动优化设计过程复杂和效率低下的问题, 提出一种基于遗传算法和 .NET 平台的锥齿轮传动优化设计方案. 首先探讨基于遗传算法和 .NET 平台的优化设计系统关键技术, 即研究 B/S 模式下的优化系统框架结构, 建立基于模糊可靠度遗传算法的锥齿轮传动优化设计数学模型, 搭建连接客户端与 MATLAB 中 m 文件的项目文件; 然后结合实例完成锥齿轮传动优化设计; 最后对优化系统的设计结果进行分析, 验证了系统可以高效完成锥齿轮传动的优化设计.

关键词: 锥齿轮传动; 遗传算法; .NET 平台; 模糊可靠度

中图分类号: TH122

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2017)02-0153-06

遗传算法(Genetic Algorithm)是一种全局寻优搜索算法, 它依据的是大自然生物进化过程中“适者生存”的规律^[1]. 遗传算法对非线性不连续的多峰函数和不能建立解析表达式的优化问题有很强的通用性, 并且与神经网络^[2]、模糊推理^[3]等学科相互渗透, 在机构结构参数化优化设计、机械零部件优化设计、机械加工工艺参数规划和金属成型优化等方面, 遗传算法取得了许多成果. 例如朱国俊等研究了基于径向基神经网络-遗传算法的海流能水轮机叶片翼型优化^[4], 卓茗等研究了一种新型的基于遗传算法的进化模糊推理系统^[5].

目前基于网络的优化设计系统主要有 B/S^[5] (Browser/Server 即浏览器/服务器)的结构模式, 实现优化过程的远程管理以及数据的通讯和处理, 相关研究也取得了不少成果, 如杜雷等研究了机械零件远程优化设计系统开发^[7], 塔静宁等研究了基于 Web 的齿轮减速器设计优化系统开发^[8], 但研究往往侧重系统功能的开发, 缺乏对高效算法的研究和引入.

本文在上述研究的基础上, 提出将遗传算法引入到 Web 环境的锥齿轮传动优化设计系统中, 在 .NET 平台上, 应用 C# 和 MATLAB 混合编程将优化算法封装在后台处理器上, 充分应用 .NET 平台提供搭建面向对象的应用程序以及 MATLAB 强大的数学建模和矩阵优化分析能力, 通过 Internet 实现数据的通讯和共享功能^[9-10], 并以满足模糊可靠度条件下的轻量化为目标完成基于遗传算法的锥齿轮传动系统优化.

1 基于遗传算法和 .NET 平台的锥齿轮传动优化系统关键技术

1.1 锥齿轮传动优化设计系统框架

系统是基于 B/S 结构的三层交互结构模式^[11], 能够实现客户端通过服务器远程调用优化系统完成数据服务的功能, 为了完善系统的交互功能, 系统还结合了 XML 及 AJAX 技术, 通过响应 HTTP 传递的数

① 收稿日期: 2015-05-19

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(SWU 115036, XDJK2013C109).

作者简介: 许德帮(1990-), 男, 湖北仙桃人, 硕士研究生, 主要从事数字化设计、信息技术方面的研究.

通信作者: 徐元浩, 副教授.

据,及时通过 DOM(Document Object Model)将新的数据发布到浏览器页面上并自动刷新,其系统框架^[12]如图 1 所示.

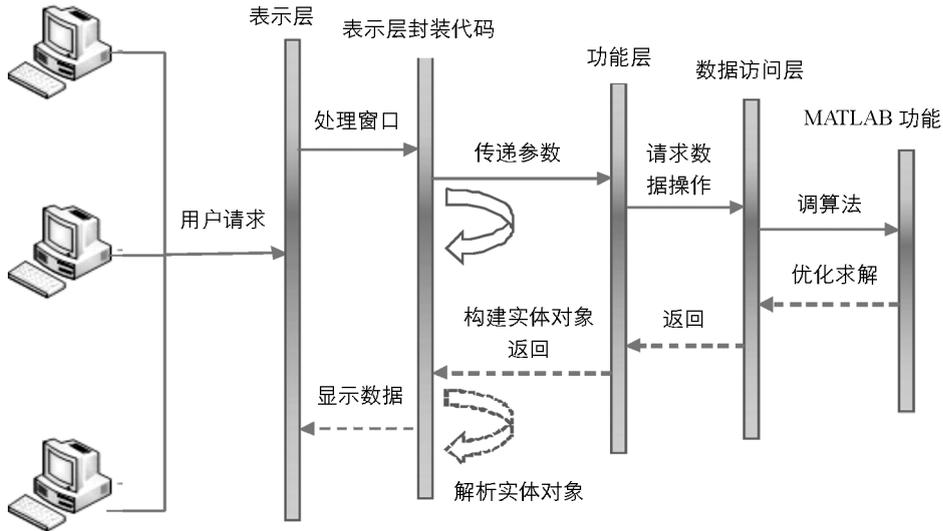


图 1 优化设计框架结构

锥齿轮的优化设计过程依次在这三层结构中完成,过程如下:① 用户在表示层输入参数请求,并由封装的程序构建实体对象;② 功能层(也称业务逻辑层)接受数据请求,通过 Web 服务器请求数据操作;③ 数据访问层在 MATLAB 调用遗传算法,完成优化计算;④ 将优化结果通过功能层的 Web 服务器传递到表示层的封装代码,完成对实体对象的解析,转换数据类型;⑤ 在用户浏览器上显示优化结果,完成优化任务.

1.2 基于模糊可靠度的遗传算法

锥齿轮传动的优化过程中,需要构建性能和边界约束,一种是基于齿面接触强度和齿根弯曲强度的约束方式,本文称为传统约束;另一种是基于模糊可靠度^[13](根据应力的概率分布规律和概率统计的理论进行一定可靠度下的性能约束,使得在确保设计可靠安全的同时到达目标最优化)的约束方式,两种约束方式都可以在本系统中作为遗传算法的建模类型,本系统采用基于模糊可靠度的约束方式,后面将给出直接在 MATLAB 使用传统约束方式得出的优化结果,并与本系统得出的结果做对比,比较两者的优劣.

遗传算法的参数有图形参数、种群参数、适应度参数、选择参数、变异参数、交叉参数、输出函数参数等,使用过程中用户根据实际情况作出相应的选择.主要应用遗传算法中的 ga 函数搜索适度函数的最小值,其基本调用格式如下^[14]:

$$[xf, fval, output] = ga(@fitnessfun, nvars, Aeq, Beq, A, B, Lb, Ub, @Nic...)$$

其中,输出函数包括适度函数的最优个体 xf ,适度函数的最值 $fval$,每一代输出和算法执行的其它信息的数据结构 $output$,输入函数包括适度函数 $fitnessfun$,适度函数变量个数 $nvars$,线性等式约束条件的系数矩阵 Aeq ,线性等式约束条件的常量矩阵 Beq ,线性不等式约束条件的系数矩阵 A ,线性不等式约束条件的常数向量 B ,设计变量 x 的下界向量 Lb 和上界向量 Ub 以及定义的非线性约束条件的函数名 Nic 等.

1.2.1 定义遗传算法适度函数

以锥齿轮传动系统的轻量化为优化对象,取锥齿轮副的体积和为适度函数^[15].

$$fitnessfun = V_1 + V_2 \quad (1)$$

$$V_1 = \frac{\pi}{3} b \cos \delta_1 \left[\left(\frac{m z_1}{2} \right)^2 + \frac{m z_1}{2} \left(\frac{R-b}{R} \times \frac{m z_1}{2} \right) + \left(\frac{R-b}{R} \times \frac{m z_1}{2} \right)^2 \right] \quad (2)$$

$$V_2 = \frac{\pi}{3} b \cos \delta_2 \left[\left(\frac{m z_2}{2} \right)^2 + \frac{m z_2}{2} \left(\frac{R-b}{R} \times \frac{m z_2}{2} \right) + \left(\frac{R-b}{R} \times \frac{m z_2}{2} \right)^2 \right] \quad (3)$$

式中, z_1, z_2 分别是两个锥齿轮齿数; m 是锥齿轮的副的大端模数; R 是锥齿轮副的锥距, $R = \frac{m z_1}{2 \sin \delta_1} =$

$\frac{m}{2} \sqrt{z_1^2 + z_2^2} = \frac{mz_1}{2} \sqrt{1 + u^2}$, $u = \frac{z_2}{z_1}$ 是锥齿轮齿数比; b 是锥齿轮的宽度, $b = \phi_R R$; ϕ_R 是齿宽系数; δ_1 和 δ_2 分别为两个锥齿轮的分度圆锥角.

1.2.2 定义遗传算法非线性条件参数

假设接触应力和弯曲应力均为服从正态概率密度函数 $f(x)$ 的随机变量, 疲劳强度极限经分析可认为是具有正态隶属度函数 $H_A(X)$ 的模糊变量, 他可以表示为

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2ce_x}} \exp[-(x - H_A(x))^2 / 2e_x^2] \quad (4)$$

$$H_A(X) = \exp[-(e_x - a)^2 / D] \quad (5)$$

其中, H_A 的定义域为 $[c_1, c_2]$; a, D 由疲劳极限 Geber 方程确定; e_x 为接触应力或弯曲应力.

推导疲劳强度模糊失效概率的表达式为

$$P_x(A) = \sqrt{\frac{D}{2e_x^2 + D}} \cdot \exp\left[-\frac{(a - H)^2}{2e_x^2 + D}\right] \cdot [h(y_1) + h(y_2)] \quad (6)$$

式中, $P_x(A)$ 分别表示接触疲劳强度以及弯曲疲劳强度, $h(y)$ 为标准正态分布函数, 其中,

$$y_i = \left(\frac{2e_x^2 + D}{D e_x^2}\right)^{1/2} \cdot \left(c_i - \frac{2a^{e_x} + D \cdot H}{2e_x^2 + D}\right) (i = 1, 2) \quad (7)$$

若要求的可靠度 R' , 则接触强度的模糊可靠度约束条件为第一个非线性条件约束, 命名为 Nic1:

$$\text{Nic1} = 1 - P_H(A) - R' \geq 0 \quad (8)$$

那么弯曲疲劳强度的模糊可靠度约束条件为第二个非线性条件约束, 命名为 Nic2:

$$\text{Nic2} = 1 - P_F(A) - R' \geq 0 \quad (9)$$

1.2.3 定义遗传算法其他参数

由式(1)可知影响适度函数 fitnessfun 的独立参数有小锥齿轮的齿数 z_1 、锥齿轮的大端模数 m 和齿宽系数 ϕ_R , 所以可以确定遗传算法中适度函数变量个数 nvars=3, 则设计变量参数 x 为

$$x = (z_1, m, \phi_R)^T = (x_1, x_2, x_3)^T \quad (10)$$

式中 $z_{1\max} \geq z_1 \geq 17 \cos \delta_1$, $m_{\max} \geq m \geq 2$, $0.30 \geq \phi_R \geq 0.25$.

综合以上分析可知, 遗传算法中设计变量的下界向量 $Lb = [17 \cos \delta_1, 2, 0.25]^T$, 上界向量 $Ub = [z_{1\max}, m_{\max}, 0.30]^T$, 目标参数化优化的目标函数是一个 3 维的非线性约束化问题, 所以对应线性等式约束条件的系数矩阵 Aeq. 线性等式约束条件的常量矩阵 Beq、线性不等式约束条件的系数矩阵 A、线性不等式约束条件的常数向量 B 均为空矩阵, 优化目标为求解设计变量参数 x 的最优个体 xf 以及适度函数 fitnessfun 的最优解 fval.

1.3 建立优化系统项目文件

完成遗传算法的数学建模后, 需要建立项目工程文件, 实现输入参数与 MATLAB 数据的转换与程序调用. 本系统运用 C# 和 MATLAB 混合编程, 选择的软件版本为 MATLAB 2013a、Visual Studio 2012 以及 Win8 操作系统, 为实现对 MATLAB 的调用, 采用一定的 AJAX 技术, 完成服务器端与客户端的异步通信, 让系统具备交互功能. 实现的步骤如下.

1) 生成用于发布的 prj 文件. 在 MATLAB 中 file-new-function 建立锥齿轮优化基于模糊可靠度的遗传算法 m 文件, 根据项目要求, 在类型项中选择工程类型, .NET Assembly 设置相应的 prj 文件命名为 MyProject, 完成之后, 在 MATLAB 添加一个类命名为 MyClass, 并在类名选择添加所需要的 m 文件, 此时这些 m 文件就被封装成为一个可供 C# 文件调用的类方法. 完成编译工程后, 将生成一个名为 MyProject 的 prj 文件.

2) 添加 DLL 引用. 在 MyProject 文件夹下有 scr 和 distrib 两个编译生成的子文件, 在 distrib 中 .dll 文件则是 C# 需要引用的类方法, 另外一个 .dll 文件, 则是在 MATLAB 安装路径的基础库中, 由系统自动生成. 打开 Visual Studio 2012 在引用项中选择两个 .dll 文件添加引用, 重新生成用于发布的新建解决方案, 到此添加 DLL 引用完成.

3) 配置 MWNumericArray 数据转换. MWNumericArray 是 MWArray 和 C# 中数据的传递载体, 因此需要在 .NET 中添加两个引用, 分别是 using MathWorks, MATLAB.NET, Arrays 以及 using MathWorks, MATLAB.NET, Utility, 从而实现 Web 类的实参与 m 文件生成的 C# 类的函数进行参数传递.

2 锥齿轮传动参数化设计系统功能实现及结果分析

1) 界面显示. 界面主要分为 3 个部分, 上面为导航栏, 主要是关于系统的介绍, 左边为帮助区, 包含齿轮设计的参考数据、遗传算法原理及示例、MATLAB 相关知识以及用户管理、辅助客户端使用系统. 右边为参数设置区, 包含锥齿轮优化设计的主要参数.

2) 参数设置. 以优化一轴交角 $\Sigma = 90^\circ$ 的闭式直齿锥齿轮传动为例, 相应的参数设置如图 2 所示, 优化目标是在满足模糊可靠度的要求下, 选择的锥齿轮副参数应使齿轮副的体积最小, 达到轻量化设计目的.

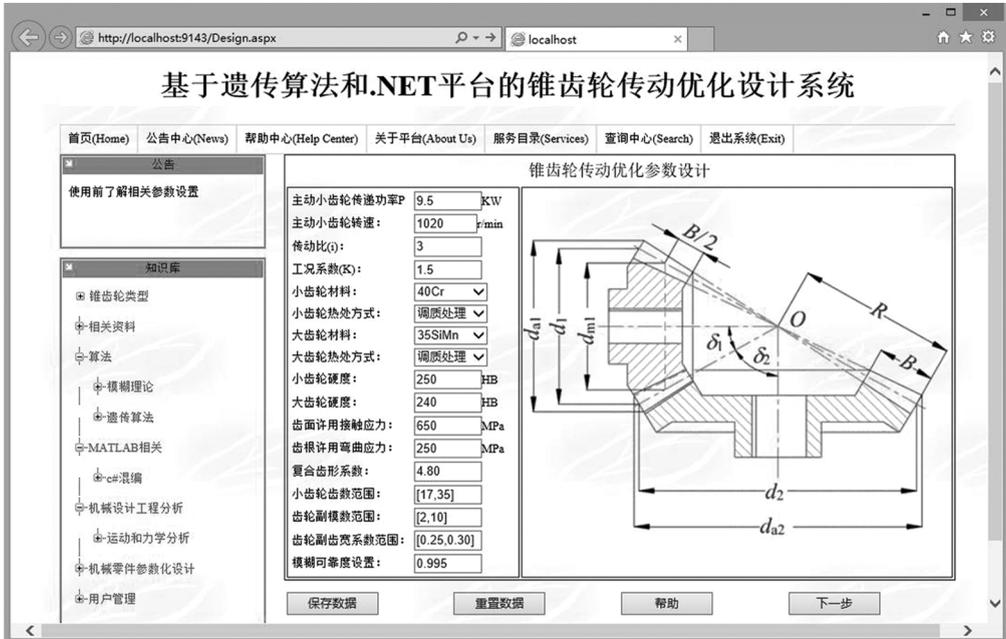


图 2 优化设计系统界面

3) 结果显示. 在参数设置完成后, 进入结果显示界面, 单击“搜索轨迹”, 将显示遗传算法的轨迹图、迭代过程以及显示每一代的相应目标参数, 可以看出优化过程是逐渐收敛的, 直到获得最优结果, 并将最优子代给予单独显示, 如图 3 所示.

4) 优化结果分析. 运算结果表明, 繁殖到第 95 代时, 最优子代出现(未对目标参数圆整), 我们在“锥齿轮优化综合结果”一栏中选择对小齿轮齿数圆整, 如图 3 所示, 最终优化结果:

$$x^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*)^T = (20, 2.0, 0.25)^T$$

$$f(x^*) = 58\ 119.2\ \text{mm}^3$$

下面我们在 MATLAB 软件中直接构造基于模糊可靠度的 Fmincon(非线性约束规划)函数, 并将得出结果与系统中使用遗传算法得出的结果进行比较, 以验证系统得出结论的准确性.

表 1 结论准确性验证

优化方式	锥齿轮优化主要参数			目标函数值/ mm ³	运算量大小
	小齿轮齿数	模数	齿宽系数		
Fmincon 函数	19.63(未圆整)	2	0.25	56 653.1	较大
	20(圆整)	2	0.25	58 119.2	
遗传算法(基于模糊可靠度)	19.77(未圆整)	2	0.25	56 615.2	较小

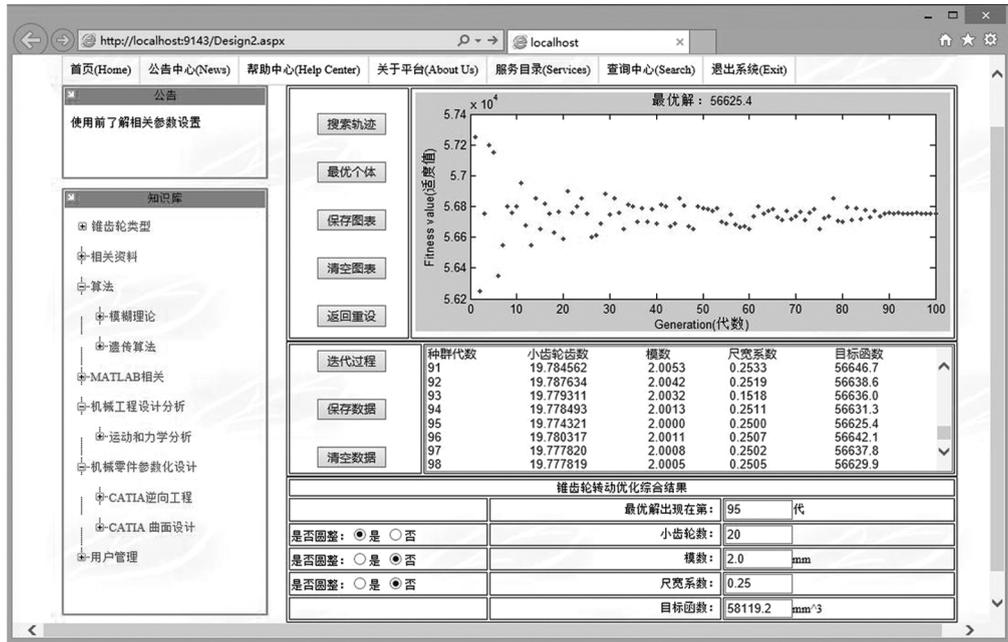


图 3 优化结果显示界面

由表 1 可以看出, 使用 Fmincon 非线性函数在小齿轮齿数没有圆整的情况下, 已经很接近系统优化的结果, 然而小齿轮齿数必须是整数, 在圆整后我们发现 Fmincon 函数优化结果和系统最终给出的优化结果是一致的, 从而验证了系统优化结果的可靠性. 系统采用遗传算法而不是调用 Fmincon 函数, 主要是因为 Fmincon 函数运算量大, 影响运行速度, 不适宜在网络环境的远程优化系统中使用.

前文我们提到, 遗传算法可以选择传统约束和基于模糊可靠度的约束, 而系统采用基于模糊可靠度的约束, 下面将由接触强度构造的传统约束条件得出的锥齿轮传动优化结果与系统中使用模糊可靠度得出的优化结果进行比较, 从而得出在锥齿轮优化过程中使用模糊可靠度约束的优势.

表 2 模糊可靠度约束与传统约束优化结果比较

遗传算法	锥齿轮优化主要参数			目标函数值/ mm ³	是否满足 接触强度	是否满足 弯曲强度	模糊 可靠度
	小齿轮齿数	模数	齿宽系数				
模糊可靠度	20(圆整)	2	0.25	58 119.2	是	是	>0.995
传统约束	19(圆整)	2	0.25	49 830.6	是	是	0.890

由表 2 可以看出, 使用模糊可靠度和使用传统的约束方式都能满足接触强度和弯曲强度, 但使用传统约束会显著降低模糊可靠度, 显然这种约束是不完善的, 所以系统采用基于模糊可靠度的遗传算法.

3 结 语

提出基于遗传算法和 .NET 平台开发的锥齿轮传动优化设计系统, 并以满足模糊可靠度条件下的轻量化为目标建立数学模型及相应的 m 文件, 依据 m 文件构建 MATLAB 与客户端数据转换和调用的项目文件, 完成系统搭建, 最后在系统界面进行了优化测试, 得出了种群遗传算法中的优化轨迹以及最终的优化结果. 系统充分运用了 MATLAB 的图像数据处理能力以及 Web Services 的网络服务功能, 对于提高锥齿轮的优化设计效率、控制设计成本、实现网络化远程控制有一定的技术优势.

参考文献:

- [1] 高峰. 遗传算法的若干理论分析 [D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [2] XU Bao-hang, ZHANG Ying-ying. An Improved Gravitational Search Algorithm for Dynamic Neural Network Identification [J]. International Journal of Automation and Computing, 2014, 11(4): 434-440.
- [3] 潘正华. 模糊推理算法的数学原理 [J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(Z1): 165-168.
- [4] 朱国俊, 冯建军, 郭鹏程, 等. 基于径向神经网络-遗传算法的海流能水轮机叶片翼型优化 [J]. 农业工程学报, 2014,

30(8): 65—73.

- [5] 卓 茗, 孙增圻. 一种新型的基于遗传算法的进化模糊推理系统 [J]. 计算机工程, 2006, 32(3): 180—182.
- [6] 王 瑞, 聂 钢, 李国富. 基于 B/S 模式的远程数据采集系统的研究 [J]. 计算机应用, 2003, 23(4): 128—130.
- [7] 杜 雷, 项学君, 林朝斌. 机械零件远程优化设计系统开发 [J]. 中国科技信息, 2006, 12(2): 64—69.
- [8] 塔静宁, 李 峰. 基于 Web 的齿轮减速器设计优化系统开发 [J]. 煤矿机械, 2002, 23(12): 21—23.
- [9] 仰燕兰, 金晓雪, 叶 桦. ASP.NET AJAX 框架研究及其在 Web 开发中的应用 [J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(6): 195—198.
- [10] 汪 超, 王 璐, 谢能刚, 等. 基于协进化粒子群算法的齿轮传动优化 [J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2015, 29(8): 38—42.
- [11] 胡迎松, 彭利文, 池楚兵. 基于 .NET 的 Web 应用三层结构设计技术 [J]. 计算机工程, 2003, 29(8): 173—175.
- [12] 徐元浩, 殷国富, 许德帮, 等. 基于 CBR 的机床导轨智能设计研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2014, 36(12): 177—186.
- [13] 吕震宙, 孙 颢, 徐友良. 机械结构系统模糊可靠性分析的数字计算方法 [J]. 机械工程学报, 2005, 41(9): 19—23.
- [14] 任谢楠. 基于遗传算法的 BP 神经网络的优化研究及 MATLAB 仿真 [D]. 天津: 天津师范大学, 2014.
- [15] 张宏新, 阿达依·谢尔亚孜旦, 朱 平. 基于 Auto CAD 的弧齿锥齿轮设计系统 [J]. 机械传动, 2013, 37(4): 49—52.

Research on Optimal Design System of Bevel Gear Based on Genetic Algorithms and .NET Platform

XU De-bang, XU Yuan-hao, CHI Wen-jun

School of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: The optimal design for bevel gear is complex and inefficient. In a study reported herein, we proposed an optimal design based on genetic algorithms and .NET platform. First, the key technologies of the system were examined, the frame structure of B/S mode was researched, an optimization mathematical model based on genetic algorithms about fuzzy reliability of bevel gear was designed, and project files were built to connect the customer service and the m files in MATLAB. Then, with the citation of real examples, the transmission design of bevel gear was completed. Finally, the results of the design optimization system were analyzed, and it was shown that the system could complete the transmission design of bevel gear efficiently.

Key words: bevel gear transmission; genetic algorithm; .NET platform; fuzzy reliability

责任编辑 汤振金

