

ISSN 1672-5581
CN 31-1926/TH

中国工程机械学会
CHINA CONSTRUCTION MACHINERY SOCIETY
CCMS

中国 工程 机械 学报

CHINESE JOURNAL OF CONSTRUCTION MACHINERY

中国科学技术协会 主管
中国工程机械学会 主办

ISSN 1672-5581



9 771672 558182

2018

Vol.16 No.2

中国·上海 SHANGHAI CHINA



中国科技论文统计源期刊
(中国科技核心期刊)

收录证书

CERTIFICATE OF SOURCE JOURNAL
FOR CHINESE SCIENTIFIC AND TECHNICAL PAPERS AND CITATIONS

中国工程机械学报

经过多项学术指标综合评定及同行专家
评议推荐,贵刊被收录为“中国科技论文统
计源期刊”(中国科技核心期刊)。

特颁发此证书。



中国科学技术信息研究所
Institute of Scientific and Technical Information of China
北京复兴路15号 100038 <http://www.istic.ac.cn>

证书

CERTIFICATE

《中国工程机械学报》编辑部:

在《中国学术期刊评价报告》(2011-2012)中,
贵刊被评为“RCCSE中国核心(扩展版)学术期刊”。

特发此证。

中国学术期刊评价委员会(代章)
武汉大学中国科学评价研究中心
Research Center for China Science Evaluation (RCCSE)

二〇一一年六月

中国工程机械学报

第 16 卷第 2 期 2018 年 4 月

[期刊基本参数]CN31-1926/TH*2003*b*A4*96*zh*P*10.00*1500*18*2018-04

目 次

• 基础理论与关键技术 •

- 记忆合金接头航空导管随机振动实验研究 张凌云,周 帅,孟伟琪,等 (95)
- 桥式起重机主梁静挠度有限元分析的约束条件 易朋兴,马德扬,聂福全,等 (101)
- RBF 神经网络算法的非线性积分滑模控制机械臂运动轨迹误差研究 董 君,陈 立 (106)
- 一种塔式起重机顶升过程中视频特征实时识别方法 宋世军,宋连玉,王思合,等 (111)
- 基于改进模糊滑模控制的机械臂运动轨迹仿真 李爱民,王启广 (115)
- 基于 AMESim 的轮履复合式底盘液压系统仿真 司癸卯,赵 明,苟 颖,等 (120)
- 超声振动钻削切屑形成机理及实验研究 陈 硕,邹 平,毛 亮 (125)

• 设计制造与质量控制 •

- 叶片可伸缩钢管螺旋桩结构的承载特性及设计方法 张新春,韩春雨,白云灿,等 (130)
- 采用混合算法优化的并联机械臂能量消耗与误差仿真研究 陈丽敏,孟令新,王大镇 (136)
- 基于摩擦补偿的机床进给系统控制器 田晓伟 (142)
- 矿用自卸车物料倾卸过程受力分析 王国宝,祁玉龙,周生霞,等 (148)
- 汽车实验用转向机器人轨迹规划 赵书尚,余 欢,李阁强 (153)
- 齿轮传递误差试验台的研究与开发 王瑞欣,刘红旗,张敬彩,等 (158)

• 性能检测、试验及故障诊断 •

- 一种新型错位曲面搅拌桨的设计和仿真 陈 亮,魏 煌,戴 彬,等 (164)
- 石蜡熔融沉积的线宽试验优化设计 张金松,郑凯特,渠国洋 (170)
- 基于 Flowmaster 的冷却系统仿真研究 刘 涛,张 明,王广基 (175)
- 基于 Petri 网和萤火虫神经网络的柴油机故障诊断 卓宏明,徐 鹏,毛攀峰 (178)
- 八轴货运机车中间构架静强度与疲劳强度分析 张红涛,徐建喜 (183)

CONTENTS

• Basic Theory and Key Technique •

- Experimental study on random vibration of aviation conduit with memory alloy joint ZHANG Lingyun, ZHOU Shuai, MENG Weiqi, et al (95)
- Constraints of finite element analysis of static deflection of bridge crane main beam YI Pengxin, MA Deyang, NIE Fuquan, et al (101)
- The nonlinear integral sliding mode of RBF neural network algorithm is used to control the motion trajectory error of the manipulator DONG Jun, CHEN Li (106)
- A real-time video feature recognition method for tower crane during lifting SONG Shijun, SONG Lianyu, WANG Sihe, et al (111)
- Simulation of manipulator trajectory based on improved fuzzy sliding mode control ... LI Aimin, WANG Qiguang (115)
- Simulation on hydraulic system for composite chassis of wheel and crawler based on AMESim SI Guimao, ZHAO Ming, GOU Ying, et al (120)
- Chip for mation mechanism and experimental study of ultrasonic vibration drilling CHEN Shuo, ZOU Ping, MAO Liang (125)

• Design Manufacture and Quality Control •

- Bearing capacity and design method of steel screw pile structures with telescopic blades ZHANG Xinchun, HAN Chunyu, BAI Yuncan, et al (130)
- Study on energy consumption and error simulation of parallel manipulator optimized by hybrid algorithm CHEN Limin, MENG Lingxin, WANG Dazhen (136)
- Machine feeding system controller based on friction compensation TIAN Xiaorwei (142)
- Force analysis of the material dump process for the mining dump truck WANG Guobao, QI Yulong, ZHOU Shengxia, et al (148)
- The trajectory planning of vehicle test steering robot ZHAO Shushang, YU Huan, LI Geqiang (153)
- Research and development of wheel transmission error test bench WANG Ruixin, LIU Hongqi, ZHANG Jingcai, et al (158)

• Performance Mensuration, Experimentation and Fault Diagnosis •

- Design and simulation of a new dislocation surface stirring paddle ... CHEN Liang, WEI Huang, DAI Bin, et al (164)
- Optimal design of experiments on width by the paraffin fused deposition modeling ZHANG Jinsong, ZHENG Kaite, QU Guoyang (170)
- Simulation research for cooling system based on Flowmaster LIU Tao, ZHANG Ming, WANG Guangji (175)
- Fault diagnosis of diesel engine based on Petri net and firefly neural network ZHUO Hongming, XU Peng, MAO Panfeng (178)
- Static and fatigue strength analysis of the eight-axle freight locomotive middle frame ZHANG Hongtao, XU Jianxi (183)

采用混合算法优化的并联机械臂能量消耗 与误差仿真研究

陈丽敏¹, 孟令新², 王大镇³

(1. 长春职业技术学院 工程技术分院, 长春 130033; 2. 新乡职业技术学院 数控技术系, 河南 新乡 453006;

3. 集美大学 机械与能源工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 针对并联机械臂存在能量消耗严重、运动轨迹跟踪精度较低等问题, 采用了混合算法优化并联机械臂运动机构, 并对优化结果进行仿真验证。建立并联机械臂运动机构简图模型, 推导齐次变换矩阵运动方程式, 给出并联机械臂 8 种运动模式。确定并联机械臂运动的设计变量, 构造能量消耗优化目标函数, 在约束条件下, 采用混合算法优化目标函数。用 PID 控制方法, 在运动模式 1 状态下, 通过 Matlab 软件将优化结果进行仿真验证。同时, 与优化前的仿真结果进行对比和分析。仿真结果表明, 优化后主动连杆消耗的能量较少, 被动连杆运动轨迹跟踪所产生的误差较小。并联机械臂采用混合算法优化后, 能够减少并联机械臂运动机构能量消耗, 提高运动轨迹的追踪精度。

关键词: 并联机械臂; 混合算法; PID 控制

中图分类号: TP 273

文献标志码: A

文章编号: 1672-5581(2018)02-0136-06

Study on energy consumption and error simulation of parallel manipulator optimized by hybrid algorithm

CHEN Limin¹, MENG Lingxin², WANG Dazhen³

(1. Engineering Technology Branch, Changchun Vocational Institute of Technology, Changchun 130033, China;

2. Department of Numerical Control Technique, College of Xinxiang Vocational and Technical, Xinxiang 453006, Henan, China;

3. College of Mechanical and Energy Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, Fujian, China)

Abstract: Aiming at the problem of serious energy consumption and low tracking accuracy of parallel manipulators, a hybrid algorithm is used to optimize the motion mechanism of parallel manipulator, and the optimization results are simulated and verified. The kinematic mechanism of parallel manipulator is set up, and the equation of the homogeneous transformation matrix is derived, and eight kinds of parallel manipulator motion modes are given. The design variables of the parallel manipulator motion are determined, and the target function of energy consumption optimization is constructed. Under the constraint conditions, the hybrid algorithm is used to optimize the objective function. The PID control method is used to verify the optimization results by Matlab software under the one state of motion mode. At the same time, the simulation results before optimization are compared and analyzed. The simulation results show that, after the optimization, the energy consumption of the active connecting rod is less, and the error caused by the track tracking of the passive connecting rod is less. When the parallel manipulator is optimized by the hybrid algorithm, the energy consumption of the parallel manipulator can be reduced and the tracking precision of the motion trajectory can be improved.

Key words: parallel manipulator arm; hybrid algorithm; PID control

机械臂类似于人的手臂,是机器人主要执行机构.机械臂应用非常广泛,不仅应用在传统的加工制造业中,而且在海洋探测、宇宙探索中也有其身影^[1].机械臂运动涉及机械、电子及控制等多方面学科.机械臂属于非线性和强耦合机械动力学系统,要达到较高的定位精度,不仅需要较好的控制方法,也需要合理的设计机械臂几何参数.目前,机械臂正在向人工智能方向发展,在代替人类手工劳动时,也消耗了大量能量.因此,研究机械臂能量消耗问题,对于节约资源、保护环境具有重要的意义.

随着机械臂技术的改进,产生了大量的研究理论和方法.例如:文献[2]针对飞机结构件加工设计了并联机器人,建立其动力性模型,利用弹簧自重优化机构参数,从而平衡了并联机械臂驱动力;文献[3]对煤炭采样机械臂传动系统优化进行了研究,并用 Matlab 和 ADAMS 进行联合仿真,从而降低了机械臂质量,提高了传动系统的平稳性;文献[4-5]采用遗传算法优化 RBF 神经网络,将优化后的 RBF 神经网络应用于机械臂运动轨迹跟踪控制,从而提高了轨迹跟踪性能.以往研究理论主要集中在机械臂控制精度上,对机械臂能量消耗研究很少,从而造成了能量资源浪费.对此,本文采用混合算法对并联机械臂机构进行参数优化,主要是设计出机械臂的最佳参数,在满足机械臂动力学条件下,消耗的能量最小.在优化过程中,建立了并联机械臂简图模型,采用差分进化算法融合粒子群算法作为优化工具,引用 PID 控制方法,将优化结果输入到 Matlab 软件中进行仿真验证,对仿真结果进行相互比较,为并联机械臂运动时的能量消耗研究提供了参考依据.

1 并联机械臂运动分析

1.1 并联机械臂简图

并联机械臂简图模型如图 1 所示,运动平台如图 2 所示.

在图 1 中: α_i 为主动关节旋转角度; β_i 为被动关节旋转角度; A_i 为基体位置; M_i 为运动平台位置; $i=1,2,3$; r_1, r_3, r_5 为主动连杆长度; r_2, r_4, r_6 为被动连杆长度; $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ 分别代表角度 BPM_1, BPM_2, BPM_3 ; $P(x_m, y_m)$ 为末端控制器在坐标系 $\{xyz\}$ 中的位置.

$A_i B_i C_i$ 为每个基体到平台的关节位置,每个关节的位置由笛卡尔坐标 x 和 y 定义,驱动关节 A_1, A_2, A_3 的旋转角度分别为 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$.

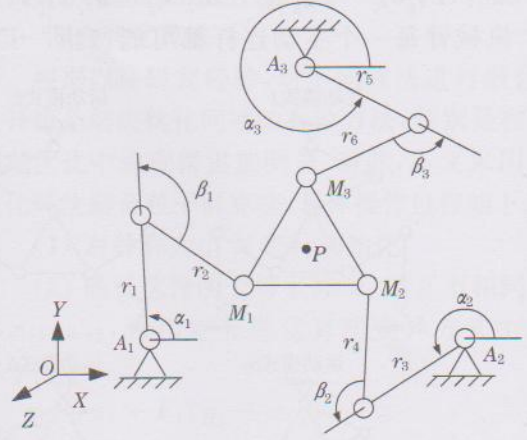


图 1 并联机械臂简图模型

Fig.1 A schematic model of parallel manipulator

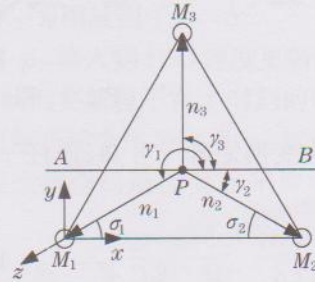


图 2 机械臂的运动平台

Fig.2 Manipulator platform

1.2 齐次变换矩阵运动方程式

根据 DH 方法^[6],结合图 1,并联机械臂逆运动学方程式如下:

$$\begin{aligned} & r_{2i-1}^2 - 2P_{Y_A}O_{y_i} - 2P_{X_A}O_{x_i} + b_{x_i}^2 + b_{y_i}^2 + O_{x_i}^2 + \\ & O_{y_i}^2 + P_{X_A}^2 + P_{Y_A}^2 + 2r_{2i-1}b_{y_i}[\sin(\varphi - \theta_i) - \\ & \cos(\varphi - \alpha_i)] + 2\cos\varphi(P_{X_A}b_{x_i} + P_{Y_A}b_{y_i} - \\ & b_{x_i}O_{x_i} - b_{y_i}O_{y_i}) + 2\sin\varphi(P_{Y_A}b_{x_i} - P_{X_A}b_{y_i} - \\ & b_{x_i}O_{y_i} + b_{y_i}O_{x_i}) + 2r_{2i-1}\cos\theta_i(O_{x_i} - P_{X_A}) + \\ & 2r_{2i-1}\sin\theta_i(O_{y_i} - P_{Y_A}) - r_{2i}^2 = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $b_{x_i} = n_i \cos \gamma_i$; $b_{y_i} = n_i \sin \gamma_i$; φ 为运动平台与 x 轴之间夹角.

式(1)的逆运动学解给出如下:

$$\begin{aligned} \alpha_i &= A \tan 2(A_i, B_i) \pm \\ & A \tan 2(\sqrt{A_i^2 + B_i^2 - C_i^2}, C_i) \end{aligned} \quad (2)$$

式中:

$$\begin{aligned} A_i &= 2r_{2i-1}(O_{y_i} - b_{x_i}\sin\varphi - b_{y_i}\cos\varphi - P_{Y_A}) \\ B_i &= 2r_{2i-1}(O_{x_i} + b_{y_i}\sin\varphi - b_{x_i}\cos\varphi - P_{X_A}) \\ C_i &= -[r_{2i-1}^2 - 2P_{Y_A}O_{y_i} - 2P_{X_A}O_{x_i} + b_{x_i}^2 + \\ & b_{y_i}^2 + O_{x_i}^2 + O_{y_i}^2 + P_{X_A}^2 + P_{Y_A}^2 - r_{2i}^2 + \\ & 2\cos\varphi(P_{X_A}b_{x_i} + P_{Y_A}b_{y_i} - b_{x_i}O_{x_i} - b_{y_i}O_{y_i}) + \end{aligned}$$

$2\sin\varphi(P_{Y_B}b_{x_i} - P_{X_B}b_{y_i} - b_{x_i}O_{y_i} + b_{y_i}O_{x_i})]$
机械臂每一个主动连杆都可能产生“+”或

“-”的解,因此,并联机械臂会产生8种逆运动学解或者运动模式,如图3所示。

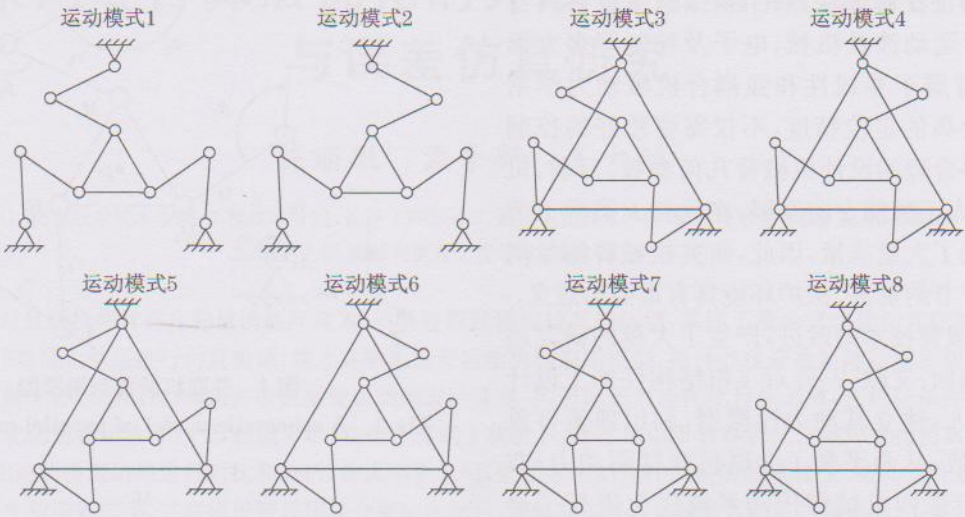


图3 并联机械臂8种运动模式
Fig.3 Eight motion modes of parallel manipulator

根据齐次变换矩阵^[7]可知,连杆 r_i 角速度方程如下:

$$J\omega_i = \begin{bmatrix} a_i & b_i & c_i \\ d_i & d_i & d_i \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (3)$$

式中:

$$\begin{aligned} a_i &= -2(P_{X_A} - O_{x_i} + b_{x_i}\cos\varphi - r_i\cos\alpha_i - b_{y_i}\sin\varphi) \\ b_i &= -2(P_{Y_A} - O_{y_i} + b_{y_i}\cos\varphi - r_i\sin\alpha_i + b_{x_i}\sin\varphi) \\ c_i &= -2[r_i b_{y_i}\cos(\varphi - \alpha_i) + r_i b_{x_i}\sin(\varphi - \alpha_i) + \\ &\quad \cos\varphi(P_{Y_A}b_{x_i} - P_{X_A}b_{y_i} - b_{x_i}O_{y_i} + b_{y_i}O_{x_i}) + \\ &\quad \sin\varphi(b_{x_i}O_{x_i} + b_{y_i}O_{y_i} - P_{X_A}b_{x_i} - P_{Y_A}b_{y_i})] \\ d_i &= 2[r_i\cos\alpha_i(O_{y_i} - P_{Y_A}) + r_i\sin\alpha_i(P_{X_A} - O_{x_i}) - \\ &\quad r_i b_{y_i}\cos(\varphi - \alpha_i) - r_i b_{x_i}\sin(\varphi - \alpha_i)] \\ J &= \begin{bmatrix} \frac{a'_i d_i - a_i d'_i}{d_i^2} & \frac{b'_i d_i - b_i d'_i}{d_i^2} & \frac{c'_i d_i - c_i d'_i}{d_i^2} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

点 A_i 为固定点,其线速度为0。但是,点 A_i 局部线速度矩阵为

$$v_i = r_i \omega_i, \quad i = 1, 2, 3 \quad (4)$$

2 优化目标

2.1 设计变量

并联机械臂能量的消耗主要转换为连杆运动的动能,而连杆的动能主要与连杆质量、连杆长度、平台质量及平台半径有关。

机械臂连杆质量求解公式为

$$m_i = \pi d_i^2 r_i \rho_i / 4, \quad i = 1, 2, \dots, 6 \quad (5)$$

式中: d_i 为连杆横截面直径; r_i 为连杆长度; ρ_i 为材料密度。

机械臂平台质量求解公式为

$$m_{mp} = \sum_{i=1}^3 (\pi d_{mp}^2 r_{mp} \rho_{mp}) / 4 \quad (6)$$

式中: d_{mp} 为横截面直径; r_{mp} 为平台长度; ρ_{mp} 为材料密度。

假设连杆的长度和平台的长度已知,则机械臂优化设计变量参数为 $X = [d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_{mp}]$ 。

2.2 目标函数

优化目标为并联机械臂主动执行器能量消耗,其计算公式为

$$E = \int_0^t P_T dt \quad (7)$$

式中: t 为连杆运动时间; P_T 为瞬时电功率。

瞬时功率 P_T 的求解公式为

$$\begin{aligned} P_T &= P_R + P_L + P_E = \\ &R_a I_a^2 + L_a I_a \frac{dI_a}{dt} + V_e I_a \end{aligned} \quad (8)$$

式中: I_a 为电机电流; V_e 为电机电压; R_a 为电枢电阻; L_a 为电枢电感。

优化的目标是使机械臂执行器消耗的电能最小,电能消耗计算公式为

最小化

$$E_T = \sum_{i=1}^3 E_i, \quad i = 1, 2, 3 \quad (9)$$

2.3 约束条件

机械臂连杆关节运动角度必须满足以下约束

条件^[8]:

$$\begin{cases} -289.1 \leq \alpha_i \leq 286.1 \\ -138.3 \leq \beta_i \leq 138.4 \end{cases}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (10)$$

机械臂连杆和平台横截面直径必须满足以下约束条件:

$$\begin{cases} 2 \leq d_i \leq 4 \\ 2 \leq d_{mp} \leq 4 \end{cases}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (11)$$

3 混合算法

3.1 差分进化算法

差分进化算法和遗传算法相似,包括变异、交叉与选择操作,具体过程如下:

(1) 变异操作.假设种群中的个体为 x_i ,经过变异后生成新的个体为 v_i ,则 v_i 表达式^[9]为

$$v_i = x_i + F_1(g_i - x_i) + F_2(x_{r_1} - x_{r_2}) \quad (12)$$

式中: $i \in [1, 2, \dots, N]$; $r_1, r_2 \in [1, 2, \dots, N]$; N 为种群大小; F_1, F_2 为缩放因子.

(2) 交叉操作.将变异后的个体 v_i 与原来个体 x_i 相同.

(3) 选择操作.差分进化算法通过比较 u_i 和个体 x_i 相同.

式中: q 为随机数, $q \in [0, 1]$; λ 为交叉概率因子; j_q 为随机整数, $j_q \in [0, D]$, D 为粒子维数,可以确保 u_i 中至少有一维来自变异个体 v_i ,避免与父代

x_i ,选择出较优值进入下一次迭代中.

3.2 粒子群算法(PSO)

粒子群算法通过移动每个个体粒子来搜索空间内的最优解,每个粒子都具有速度和位置两个属性.粒子速度 $v_{i,j}$ 根据个体最优值和全局最优值进行不断的更新,其更新迭代公式^[10]为

$$v_{i,j}(t+1) = \omega v_{i,j}(t) + c_1 q_1 [p_{i,j} - x_{i,j}(t)] + c_2 q_2 [g_j - x_{i,j}(t)] \quad (14)$$

$$x_{i,j}(t+1) = x_{i,j}(t) + v_{i,j}(t+1) \quad (15)$$

式中: $i = 1, 2, \dots, N$; $j = 1, 2, \dots, D$; N 为种群大小; D 为粒子维数; ω 为惯性权重, $\omega \in [0, 1]$; c_1, c_2 为学习因子, $c_1, c_2 \in [0, 2]$; q_1, q_2 为随机数, $q_1, q_2 \in [0, 1]$.

为了平衡局部、全局搜索的能力,采取线性方式修改惯性权重系数 ω :

$$\omega = \omega_0 + (\omega_0 - \omega_1) \left[\frac{T}{T_{\max}} \right]^2 \quad (16)$$

式中: ω_0 为初始权重; ω_1 为最终权重; k 为当前迭代次数;

4 机械臂PID控制及仿真

4.1 PID控制

PID控制是当今经典的控制方式,主要由比

Tab. 1 Optimization value of cross section diameter of manipulator connecting rod and platform mm
表1 机械臂连杆与平台横截面直径优化值

参数变量		优化前	优化后
d_1	4.0	3.5	3.5
d_2	4.0	3.5	3.5
d_3	4.0	3.5	3.5
d_4	2.0	2.4	2.4
d_5	2.0	2.4	2.4
d_6	2.0	2.4	2.4
d_{mp}	2.0	2.2	2.2

面积直径如表1所示.

采用混合优化算法对机械臂运动参数进行优化,初始条件设置:种群大小为300,最大迭代次数为1 000,初始权重为 $\omega_0 = 0.90$,最终权重为 $\omega_1 = 0.4$,学习因子为 $c_1 = c_2 = 2$,随机数为 $q_1 = q_2 = 1$,交叉概率为0.02,变异概率为0.75,优化后的横截面直径如表1所示.

进行优化:

(5) 对当前全局最优值 g 采取差分进化算法.

(4) 更新当前个体最优值 p_i 与全局最优值 g .

(3) 将 p_i 输入到PSO速度更新迭代式(15)和式(16)中,从而更新粒子在 t 时刻的位置 $x_i(t)$.

式中: F_1, F_2 为缩放因子.

$$p_{i,j} = \begin{cases} F_2(x_{r_1,j} - x_{r_2,j}), & q \leq \lambda \text{ 或 } j = j_q \\ x_i + F_1(g_j - x_{i,j}) + F_2(x_{r_1,j} - x_{r_2,j}), & \text{其他} \end{cases}$$

体 p_i .

(2) 随机选择两个与个体 x_i 的互不相同的个体 x_{r_1}, x_{r_2} ,采用差分进化算法变异方式生成个体 p_i .

(1) 对种群大小 N 进行初始化.

进化算法融合粒子群算法,具体操作过程如下.

长补短是解决优化问题的有效方法,特别是在复杂问题优化中表现得更加明显.对此,本文采用差分进化算法融合粒子群算法,对同算法进行融合,取

3.3 混合优化算法

迭代次数; $T_{\max}$ 为最大迭代次数.

例、积分和微分 3 部分组成,其控制微分方程式^[11]如下:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (19)$$

式中: $u(t)$ 为控制对象的输出信号; $e(t)$ 为输出与输入之差信号; K_p , K_i , K_d 分别为比例增益系数、积分增益系数及微分增益系数。

本文采用经典的 PID 控制对机械臂进行动力学控制,其控制方式如图 4 所示。

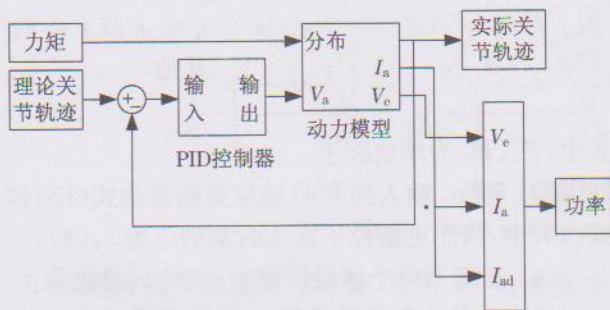


图 4 机械臂动力学 PID 控制
Fig.4 Manipulator dynamic PID control

4.2 能量与误差仿真

假设并联机械臂各连杆长度为 15 cm,运动平台为等边三角形,其边长为 8 cm,运动平台各连杆长度为 5 cm,材料密度 $\rho = 2.7 \text{ g/cm}^3$,机械臂运动轨迹为 $x = 10\cos(\pi t/2)$, $y = 10\sin(\pi t/2)$. 假设机械臂在运动模式 1 条件下,根据 PID 控制方法,将机械臂优化数据导入到 Matlab 软件中进行仿真,并联机械臂主动连杆能量消耗如图 5 所示,被动连杆运动轨迹跟踪误差如图 6 所示. 其他 7 种运动模式条件下仿真结果与运动模式 1 相似,本文不再作仿真验证。

根据图 5 仿真曲线可知:在相同运动模式状态下,优化前,主动连杆运动所需要功率不稳定,消耗能量大;优化后,主动连杆运动所需功率相对稳定,消耗能量小. 根据图 6 仿真曲线可知:在执行相同的轨迹跟踪任务时,优化前,被动连杆运动轨迹所产生的误差大;优化后,被动连杆运动轨迹产生的误差小. 因此,综合比较可知,采用混合算法优化后的并联机械臂连杆机构,在相同的控制条件下,不仅能够节约能量,而且提高了运动精度。

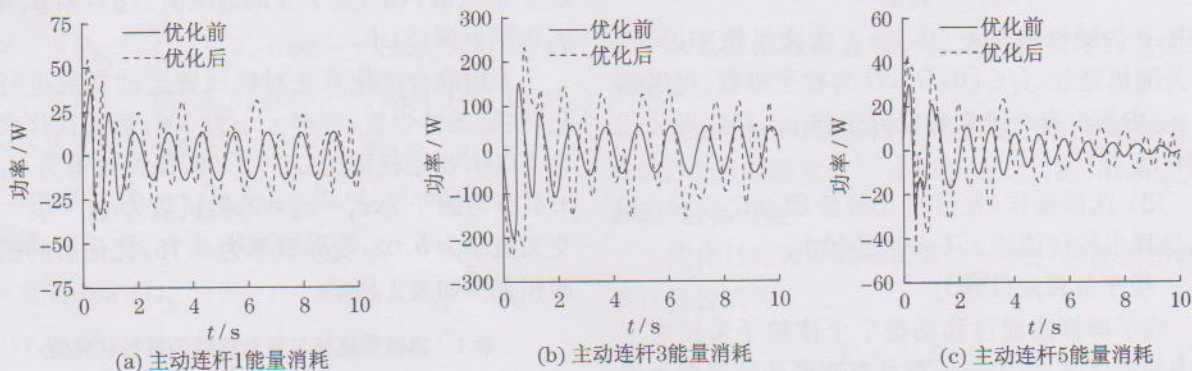


图 5 运动模式 1 条件下各主动连杆能量消耗

Fig.5 The energy consumption of each active link under the condition of motion mode one

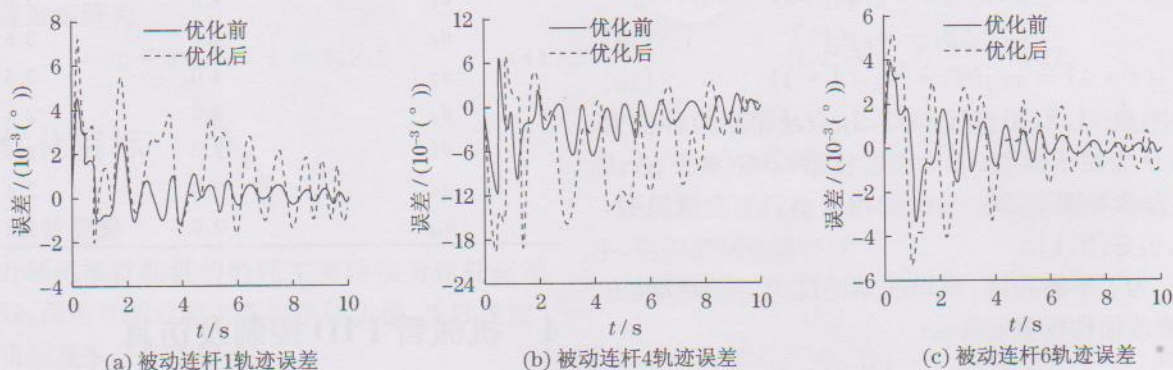


图 6 运动模式 1 条件下各主动连杆轨迹跟踪误差

Fig.6 The trajectory tracking error of each active link under the condition of motion mode one

5 结论

(1) 应用了混合算法优化了并联机械臂几何参数,并对能量消耗进行了仿真,改进了单一算法的缺点,从图5仿真结果看出混合算法优化后的能量消耗有所降低。

(2) 从图6可以看出优化后的并联机械臂运动轨迹追踪精度要优于优化前,改变了传统方法不足。

(3) 对于其他7种运动模式,同样可以降低能量消耗,提高轨迹追踪精度,也可以将混合算法优化方法应用于其他机械领域优化问题中。

参考文献:

- [1] 季俊辉.基于CANopen的机械臂控制器[D].合肥:中国科学技术大学,2017.
- [2] 吴孟丽,王立文.一种新型并联机器人的静力学优化设计[J].中国机械工程,2010,21(19):2308-2312.
- [3] 陈川雄,孔建,煤炭采样机械臂传动系统优化设计及分析[J].煤炭技术,2016,35(2):259-262.
- [4] 肖凡,李光,周鑫林.多连杆机械臂GA-RBF神经网络轨迹跟踪Technology,2016,35(2):259-262.
- [5] HUAN H C, CHIAN C H. An evolutionary radial basis function neural network with robust genetic based immunocomputing for online tracking control of autonomous robots[J]. Neural Processing Letters, 2016, 44(1): 20-33.
- [6] SINGH A K, BARANWAL N, NANDI G C. Development of a self reliant humanoid robot for sketch drawing[J]. Multimedia Tools and Applications, 2017, 76(18): 18849-18868.
- [7] HERMAN P, ADAMSKI W. Nonlinear trajectory tracking controller for a class of robotic vehicles[J]. Journal of the Franklin Institute, 2017, 354(13): 5145-5161.
- [8] MOBAYEN S, TCHIER F, RAGUUB L. Design of an adaptive tracker for n -link rigid robotic manipulators based on super-twisting global nonlinear sliding mode control [J]. International Journal of Systems Science, 2017, 48 (9): 1991-2001.
- [9] 陈岩,王宗尧.基于多准则寻优策略的差分进化算法[J].山东科技大学学报,2016,35(1):102-107.
- [10] CHEN Y, WANG Z X. Differential evolution algorithm based on multi-criteria optimization strategy [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology, 2016, 35(1): 102-107.
- [11] 杨博宇.多群协同多目标粒子群优化算法及其应用研究[D].沈阳:东北大学,2013.
- [12] YANG B Y. Research on multi-population co-evolutionary multi-objective particle swarm optimization and its application [D]. Shenyang: Northeastern University, 2013.
- [13] MOHAMMAD A. Optimal design of fractional-order PID controller for five bar linkage robot using a new particle swarm optimization algorithm[J]. Soft Computing, 2016, 20(10): 4056-4065.

收录证书

《 中国工程机械学报 》

在“万方数据—数字化期刊群”全文上网,被《中国核心期刊(遴选)数据库》收录,期限为 2008 — 2010 年。

编号: SH353



2008 年 月

中国核心期刊(遴选)数据库

收录证书

《中国工程机械学报》编辑部:

贵刊自 2008 年 3 月已被我社《中国学术期刊文摘(中文版)》收录为源期刊(期限两年)。特发此证。

中国科协科技导报社
2008 年 3 月

北京市海淀区学院南路 95 号(100081) E-mail: wzzw@cast.org.cn

CNKI 中国知识基础设施工程

中国期刊全文数据库(CJFD)

全文收录证书

经国家新闻出版总署、国务院新闻办审核备案,《中国工程机械学报》定为中国期刊全文数据库(Chinese Journal Full-text Database)全文收录期刊,特此证明。

本数据库 1999 年起列入国家科技部国家火炬计划项目(批准文号:国科发计字[1999]171 号),2000 年荣获新闻出版署首届国家电子出版物最高奖。

编号:(Q) TH096

发证时间:2006 年 12 月



中文科技期刊数据库(全文版)

收录证书

《中国工程机械学报》:

《中文科技期刊数据库(全文版)》是经中华人民共和国新闻出版总署批准出版的大型综合性文献数据库,是中文期刊文献检索的权威工具之一。贵刊自 2007 年起被《中文科技期刊数据库(全文版)》收录。

特颁发此证书。

证书编号: 07-1340

发证时间: 2007.07



《中国工程机械学报》第二届编委会

顾 问: 路甬祥 杨叔子 史维祥 闻邦椿 蔡鹤皋 谢友柏 钟 掘 郭重庆 周勤之 钱七虎
孙 钧 赵明生 杨红旗 孙祖望 赵德源

主 任: 石来德

副 主 任: 徐滨士 钟志华 冯培恩 吴玉厚 王益群 黄有方 陶德馨 郑惠强 徐宝富 冯 跃
编 委: (按姓氏笔画排序)

马世宁 毛 君 王玉昆 王安麟 王国强 王爱玲 王益群 王璋奇 冯 跃 冯忠绪
冯培恩 田晋跃 石来德 刘 钊 朱诗顺 许明恒 何绍华 何清华 吴玉厚 张国忠
张 琦 李自光 李济顺 杜彦良 杨永和 芮执元 迟永滨 陆大明 陆念力 陈伦军
陈 进 陈忠基 周贤彪 孟宪颐 宓为建 易新乾 林忠钦 林述温 林 愉 郑惠强
段志善 赵丁选 赵伟民 赵静一 钟志华 徐西鹏 徐宝富 徐格宁 徐滨士 殷晨波
陶德馨 高顺德 史铁林 黄有方 黄志明 黄晓敏 曾庆良 曾盛焯 焦生杰 葛世荣
董志斌 韩 捷

主 编: 郑惠强

副 主 编: 王安麟 宓为建 周贤彪 王东静 严 伟 简小刚

中国工程机械学报

ZHONGGUO GONGCHENG JIXIE XUEBAO

CONSTRUCTION JOURNAL OF

CHINESE JOURNAL OF

(Bimonthly, Started in 2003)

第16卷 第2期 2018年4月

Vol.16 No.2 Apr.2018

(双月刊, 2003年创刊)

主管单位: 中国科学技术协会

主办单位: 中国工程机械学会

主 编: 郑惠强教授

出版、发行: 《中国工程机械学报》编辑部

(同济大学机械馆, 上海, 200092)

电子信箱: my119660509@163.com

印 刷: 上海豪杰印刷有限公司印刷厂

E-mail: myl@tongji.edu.cn

发行范围: 公开

Printer: Shanghai Haojie Printing Co., Ltd.

刊号 ISSN 1672-5581
CN 31-1926/TH

国内定价: 10.00 元