

基于小区域碰撞分析的机电一体化控制方法研究

伍玩秋

(阳江职业技术学院 机电系, 广东 阳江 529500)

摘要:传统机电一体化控制方法容易出现控制路径选择失误,导致PLC设备形成错误碰撞。为了解决这些问题,提出基于小区域碰撞分析的机电一体化控制方法,采用基于小区域碰撞分析的机电一体化控制路径约束方法,添加约束算法实施控制,在小区域中有效避免额外耗损,得到二次线性函数的最小值,提高机电一体化控制的抗干扰能力。实验结果表明,所提方法可准确控制机电一体化,得到最佳控制路径,动态稳定性以及负载均衡性强。

关键词:小区域碰撞分析;机电一体化;控制方法;控制路径;线性二次型调节器算法

中图分类号:TP391.9 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqcd19272

Research on the Control Method of Electromechanical Integration Based on Small Area Collision Analysis

WU Wanqiu

(Department of Electro-machinery Engineering, Yangjiang Vocational and Technical College, Yangjiang 529500, Guangdong, China)

Abstract: The traditional mechatronics control method is prone to the error of control path selection, which leads to the wrong collision of PLC equipment. In order to solve these problems, a method of mechatronics control based on small area collision analysis was put forward. The path constraint method of mechatronics control based on small area collision analysis was adopted, and the control was implemented by adding constraint algorithm. In the cell domain, the extra wear was avoided effectively, the minimum value of quadratic linear function was obtained, and the anti-interference ability of mechatronics control was improved. The experimental results show that the proposed method can accurately control the electromechanical integration and obtain the optimal control path, dynamic stability and load balance.

Key words: small area collision analysis; mechatronics; control method; control path; linear quadratic regulator (LQR) algorithm

由于我国生产力效率的增快和经济的发展,自动化技术的使用也越来越普及,这项技术将对人类社会文化的进步有着举足轻重的长远意义。因为科学生产力的不断进步,机电控制系统自动控制技术应紧跟时代的步伐做出相应的变化,才能适应生产力,机电一体化技术由此顺势发展起来,该技术在工业、农业、军事等方面机械电子一体化都有着巨大的使用空间。而传统机电一体化控制方法稳定性差、负载失衡,容易出现控制路径选择失误,导致PLC设备形成错误碰

撞^[1]。因此,本文提出基于小区域碰撞分析的机电一体化控制方法,增强了机电一体化控制精确度和稳定性。

1 基于小区域碰撞分析的机电一体化控制方法

对于自动控制中机电一体中的PLC设备经常存在路径选择失误,使得机电一体自动控制中形成错误碰撞,导致机械能耗提升的问题,本文采用基于小区域碰撞分析的机电一体化PLC控

制中的路径约束方法,在PLC控制中添加约束算法对路径选择过程中存在的错误实施控制,获取最佳的控制路径,提升自动控制路径选择的准确度,在小区域中有效避免了PLC设备的额外耗损和障碍物碰撞问题的发生^[2]。

1.1 基于小区域碰撞分析的机电一体化控制中的路径约束方法

在机电一体化PLC设备的命令特征信号可以准确知道的情况下,实施具体行为也会出现某些失误,形成损耗或者发生碰撞。要确保行动路径最少,把耗能降到最低值,就要依照获得的命令特征,实施正确步骤划分^[3],约束有效范围。要完成以上目标,应设满足2个条件的适应度函数,详细的过程如下。

1)客观地制定出在PLC设备上横向的最大值和最小值,对边界实施横向约束,由于PLC设备的运动空间有固定范围,这样就可以对行动边界实施有效控制。下面为控制规程:坐标系的建立中,需任取2个约束点进行PLC运动控制,为此给出直线 l_i ,横向约束和直线 l_i 的相交处坐标为 (X_{i1}, Y_{i1}) 和 (X_{i2}, Y_{i2}) 。此处 Y_i 范围必须在 (Y_{i1}, Y_{i2}) 规定内,此处交点坐标未必精准,需要限定范围的容错率,在错误率大的时候应删除对应数值,详细函数计算式过程如下:

$$f_1 = \begin{cases} 1 & Y_{i1} + r \leq Y_i \leq Y_{i2} - r \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

式中: r 为PLC设备最新步长; i 为PLC设备路径上的点。

由式(1)看出,如果每个路径点都能在控制过程中,那么适应度为1,反之为0。

2)PLC设备在运行过程中有遭遇突发状况的可能,严重时损害设备安全,这也是影响能耗的一个重要因素,应要合理有序地制定出PLC设备的行动路径,确保设备安全的同时将消耗降到最低^[4]。PLC设备的自动运动过程简单,在系统看来可视为小面积的匀速直线运动,例如机电控制系统由始发点 P_0 到目的点 $P_i(x_i, y_i)$ 所需时间是 t_i ,由 $P_{i-1}(X_{i-1}, Y_{i-1})$ 到 $P_i(X_i, Y_i)$ 所需时间是:

$$T_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} / v \quad (2)$$

式中: v 为机电控制系统智能控制中移动的速度; t_0 为初始时刻。

机电控制系统目前路径上的某一行动点是 $v_{ik}(v_{ix}, v_{iy})$,机电控制系统在 v 点的 x 和 y 速度表

现方程式为

$$\begin{aligned} x_i &= x_{i-1} + v_{ix} T_{i-1} \\ y_i &= y_{i-1} + v_{iy} T_{i-1} \end{aligned}$$

在其它障碍物里的坐标可以小范围地被计算出来:

$$\begin{aligned} X_{hk}(t_i) &= X_{hk}(t_0) \\ Y_{hk}(t_i) &= Y_{hk}(t_0) \end{aligned}$$

其中, $T_{hk}[X_{hk}(t_0), Y_{hk}(t_0)]$ 是PLC设备在运动行为时第 k 障碍物的原始坐标,假设在PLC设备中测量到的障碍物与测量到当前路径上的运动点 $P_i(x_i, y_i)$ 中的间距为

$$D_{ik} = \sqrt{[x_i - v_{ix}(t_i)]^2 + [y_i - v_{iy}(t_i)]^2}$$

能计算得出预估距离的最短路径

$$D_{\min} = \min(D_{ik}) \quad i=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, m$$

式中: n 为集成路径的路径各点数; m 为障碍物的个数。

根据这些应知避障适应度函数为^[5]

$$f_2 = \begin{cases} 1 & D_{\min} > R_0 + R_k (k=1, 2, \dots, m) \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

式中: R_0 为PLC控制系统移动部分避免碰撞的明确半径; R_k 为可以越过障碍物的有效稳妥半径。

假如PLC控制系统能保证在最小范围内成功越过障碍物的阻碍,那么适应度是1,相反是0。

3)以下函数为路径最短适应度函数:

$$f_3 = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - 1)^2 + (y_i - 1)^2} \quad (4)$$

最后总结以上制约条件可以获得综合适应度函数:

$$f = f_1 \times f_2 \times f_3 \quad (5)$$

要使PLC设备更加优质的运行,在小区域中使用上述办法,可以有效避免设备的额外耗损和障碍物的碰撞。

1.2 基于LQR算法的机电一体化优化控制

上述过程完成了机电一体化控制过程中PLC设备的防撞控制后,采用基于LQR算法实现机电一体化的优化控制,提高机电一体化控制的平衡性和抗干扰性。本文基于LabVIEW集成的控制系统对LQR算法实施设计,LQR算法也称作线性二次最优控制算法,其基本原理是寻找最优的 $u(t)$ 控制,目的是取得二次线性函数的最小值 J 。若该LabVIEW集成的控制系统是线性的且其性能指标为状态变量和控制变量的二次函数,则对其进行最优求解称作线性二次问题^[6]。采用二次线性函数的优点是其所控制的机电一体化总是处于稳定状态的,机电一体化控制

性能泛函数的表达式如下式:

$$J = \frac{1}{2} \mathbf{x}^T(t) \mathbf{S} \mathbf{x}(t) + \frac{1}{2} \int_0^t [\mathbf{x}^T \mathbf{Q}(\mathbf{x}) + \mathbf{u}^T \mathbf{R}(\mathbf{u})] dt \quad (6)$$

式中: \mathbf{S} 为半正定常数矩阵; $\mathbf{Q}(\mathbf{x})$ 为半正定时变矩阵; $\mathbf{R}(\mathbf{u})$ 为正定时变矩阵; $\mathbf{x}(t)$ 为状态变量; $\mathbf{x}^T(t)$ 为泛函极值。

式(6)也称为机电一体化的二次性能函数,该函数表达式中的前半部分表示终端型代价函数,通常用来测量机电一体化控制中产生的误差大小;后半部分对机电一体化中功率的大小进行测量^[7]。

本文提出的基于小区域碰撞分析的机电一体化控制方法,是当组件受到影响发生偏移时使组成部件处于稳定运行的平衡状态。实际应用中 \mathbf{S} 、 $\mathbf{Q}(\mathbf{x})$ 和 $\mathbf{R}(\mathbf{u})$ 通常为对角线矩阵,其对角线元素按实际要求和设计人员经验决定^[8],无统一选取标准。

对于连续时间线性的控制对象存在:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}^T \mathbf{x}(t) + \mathbf{B}^T \mathbf{q}(t) \\ \mathbf{y}(t) = \mathbf{v}_{ik} \\ \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0 \end{cases} \quad (7)$$

式中: $\mathbf{q}(t)$ 为控制变量; \mathbf{A}^T 为 $n \times n$ 维的常数矩阵; \mathbf{B}^T 为 $n \times m$ 维的常数矩阵。

通常机电一体化系统处于稳定运行时假设 t 无限接近无穷大,对机电一体化结构中的控制器进行设计时,设计人员选择合适的控制向量 $\mathbf{q}(t)$ 有利于使给定的性能指标为最小值^[9],同时可以说明当二次性能指标的积分限从 0 增大到无穷大时,从中可以得到线性的控制方法, $\mathbf{q}(t)$ 如下式:

$$\mathbf{q}(t) = -\mathbf{K}(t) \mathbf{x} \quad (8)$$

式中: $\mathbf{K}(t)$ 为 $r \times n$ 维的矩阵。

本文对二次性能指标的最优控制归结为确认矩阵 \mathbf{K} 的每个元素。对于完全可控的线性定长系统的指标泛函数表达式为

$$J = \frac{1}{2} \int_0^\infty [\mathbf{x}^T \mathbf{Q}(\mathbf{x}) + \mathbf{u}^T \mathbf{R}(\mathbf{u})] dt \quad (9)$$

对其实施最优控制^[10]:

$$\mathbf{u}^*(\mathbf{x}, t) = -\mathbf{R}(\mathbf{u}) \mathbf{B}^T(t) \mathbf{P}(t) \mathbf{x} \quad (10)$$

式中: $\mathbf{P}(t)$ 为伴随变量,满足退化矩阵 Ricatti 方程。令

$$\mathbf{K}(t) = \mathbf{R}(\mathbf{u}) \mathbf{B}^T(t) \mathbf{P}(t) \quad (11)$$

得到:

$$\mathbf{u}^*(\mathbf{x}, t) = -\mathbf{K}(t) \mathbf{x} \quad (12)$$

下述为对本文方法进行机电一体化控制的最优控制过程:

1) 利用 Matlab 软件求解退化矩阵 Ricatti 方程计算矩阵 \mathbf{P} , 当系统稳定时则有正定矩阵 \mathbf{P} 存在。

2) 将得出的正定矩阵 \mathbf{P} 代入式(11)中,计算出最优矩阵 \mathbf{K} 。

基于上述过程得到的最优矩阵 \mathbf{K} 、半正定时变矩阵 $\mathbf{Q}(t)$ 和正定时变矩阵 $\mathbf{R}(u)$ 均为设计者根据实际经验取得^[11],对矩阵 $\mathbf{Q}(t)$ 的值进行变换,可以得到不同的结果,该矩阵对角线元素越大,说明机电一体化系统的抗干扰能力越强,均衡用时越短^[12],但矩阵 \mathbf{Q} 的取值过大时,会对机电一体化控制造成影响,因此应选择合理的 \mathbf{Q} 值,实现机电一体化的优化控制。

2 实验分析

2.1 运行结果检测

实验检测本文控制方法下的某机电一体化设备的某机电输入阶跃信号以及正弦信号运行结果,如图 1 所示。分析图 1 可知,采用本文方法实施机电一体化控制后,输出的阶跃信号和正弦信号中不存在噪声,平稳运行,说明本文方法能够对机电一体化设备实施准确控制。

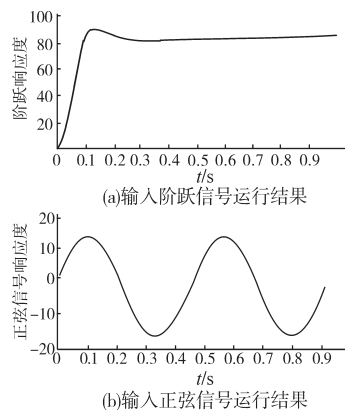


图1 输入阶跃信号以及正弦信号的运行结果

Fig.1 Operation results of input step signal and sinusoidal signal

2.2 状态监测画面

本文方法控制下的机电一体化控制系统监测画面如图 2 所示,能够看出动作完成后会自动提示“定位完成”,同时也检测系统元件的工作状态。



图2 检测画面

Fig.2 Detection screen

2.3 最佳控制路径检测

为验证本文方法的有效性,对纺织行业中的自动缝纫机进行机电一体化的仿真实验,通过计算机设备得到PLC设备的坐标、半径等组件的信息,将得到的信息作为PLC设备中的约束函数,用图3来表示其实际路线和最优路线的关系。对PLC设备初始状态的路线选择不使用某种固定方法^[13],进行纺织时遇到的障碍物不会移动且能被机器设备提前感知,该过程为记忆约束。可以从路线库中选择合理的路线,按照实际使用需求选择10条合适的路线,且路线的准确信息能够被计算机所识别,将其中最合适的5条线路构成一个新的集合 $Y(t)$,PLC设备在移动过程中可能接连遇到障碍物,所以障碍物的信息也在不断变化^[14],应实时掌握障碍物的信息。

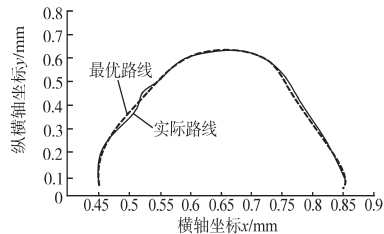


图3 最佳路径的选择实验

Fig.3 Experiment of selecting the best path

为验证本文方法的能量消耗情况,对100个纺织点在坐标位置、共件数量和种类均相同的情况下,采用本文方法和BP神经网络方法的纺织机器的能量消耗结果进行对比,如表1所示。可以看出,采用本文方法对PLC设备的路线优化后,能量消耗大大减少,尤其在处理结构复杂、纺织点多的情况下的能量消耗优势更加突出。

表1 2种方法的纺织机器能量消耗

采用方法	所用时间/s	能量消耗/(个·s ⁻¹)
BP神经网络方法	281.505	0.565
本文方法	267.685	0.229

2.4 稳定性检测

实验采用本文方法对某动车组车辆实施机电一体化控制,检测本文方法的稳定性。实验参考某编排形式为4动4拖的动车组,其最大的重量547 t,基准速度110 km/h,该动车组的额定功率和额定电压分别为573 kW和2 700 kV;额定频率和额定转速分别为140 Hz和4 200 r/min;最大转速6 000 r/min,极对数2;定子电阻和和转子电阻分别为0.15 Ω 和0.16 Ω ;发生转动时的惯量为5 kg·m²,阻尼系数为0。该动车基本参数为:车

轮直径920 mm,齿轮转动比和齿轮传动的效率分别是2.677和0.86。

不计动车轨道的影响,当车辆平稳运行时,初始电机转速为168 r/s,运行速度100 km/h,当车辆运行50 s时,电机的转速为84 r/s,车速为50 km/h,给定磁链为3.69 Wb,磁链容差的误差在 ± 0.025 Wb之间,实验进行100 s,实验步长为0.000 01,根据上文所述的实验参数,采用Simpack/Simulink进行仿真实验,得到如下实验结果。

图4为电机负载转矩波形。动车组刚开始运行,启动时产生的阻力要大于车辆运行产生的阻力,从图4中可明显看出车辆启动时电机的负载转矩为175 N·m,该数值随着车速度的提高而慢慢减少,车辆电机负载转矩发生变动时,该过程车辆运行平稳,没有出现大幅度波动,说明本文方法应用于动车组车辆机电一体化控制中的静态稳定性较好。

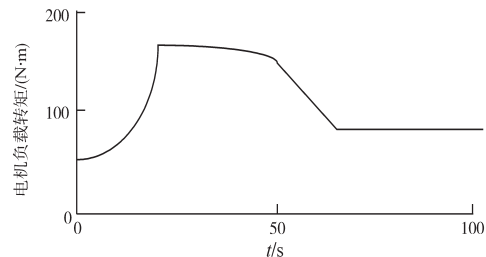


图4 电机负载转矩

Fig.4 Motor load torque

图5a为实验过程中电机的电磁转矩;图5b和图5c分别为车辆处于匀速运动时间段内的电磁转矩。当车辆在启动过程中,起到牵引作用的电机以电磁转矩为3 000 N·m运行;在第19 s时车辆保持匀速运行,至此电磁转矩逐渐减小。图5b中的电机始终在100~200 N·m之间波动,且电机电磁转矩始终与负载转矩相同;在第43 s时,车辆速度逐渐变慢,电机开始反向运转,直至下降到-3 000 N·m;在第60 s时,车辆速度减至50 km/h,之后一直维持匀速运行^[15]。图5c中电机电磁转矩在50~150 N·m之间变动,由图5c可知,采用本文控制方法下的车辆电机的负载转矩大约为78 N·m,且电机电磁转矩与负载转矩之间是平衡关系。

图6为车辆启动过程中不同时段牵引电机定子的三相电流。在车辆速度较低时,其三相电流呈现正弦形波动,如图6a所示。分析图6b能够看出,在第15.7 s时,该三相电流出现尖峰,表明该车辆机电控制系统受到干扰的影响,此时对该车辆系统进行机电一体化控制。分析图6c可知,

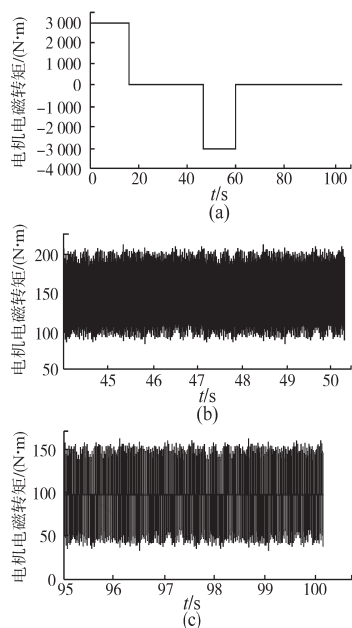


图5 电机电磁转矩

Fig.5 Electromagnetic torque of motor

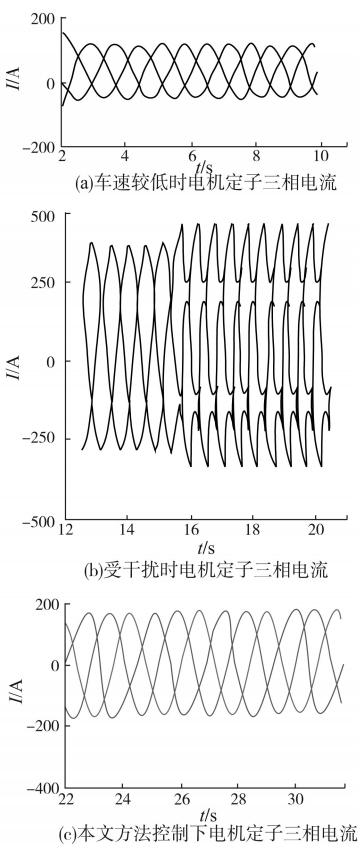


图6 不同区间段定子三相电流

Fig.6 Stator three-phase current in different sections

在应用本文方法控制后,第22 s时车辆保持匀速运行,三相电流也稳定在 ± 210 A之间,与图6b相比,其三相电流的尖峰和频率都略有下降,且上下浮动较小,牵引电机的负载转矩也较小,说明

采用本文方法对车辆机电一体化实施控制,车辆运行过程中的三相电流波动稳定,车辆运行状态稳定,证明了本文方法的抗干扰性与稳定性。

3 结论

本文提出小区域碰撞分析的机电一体化控制方法,解决了控制路径选择失误导致PLC设备形成错误碰撞的问题,提高机电一体化控制稳定性以及负载均衡性。

参考文献

- [1] 张洁. 密集小区域碰撞算法下的物流铁路货运调度[J]. 科技通报, 2015, 31(12): 48-50.
- [2] Kaur S, Janardhanan S. Second Order Sliding Mode Controller and Online Path Planning for Space Rovers [J]. International Journal of Modelling Identification & Control, 2014, 21(3): 321-329.
- [3] 袁健. 基于PLC技术的新型机电一体化运煤机械设备研究[J]. 煤炭技术, 2016, 35(8): 260-262.
- [4] 李红燕, 和阳, 朱纪洪, 等. 机电一体化灵巧舵机控制器设计[J]. 微特电机, 2016, 44(12): 72-76.
- [5] 舒锐志, 魏静, 秦大同, 等. 多源驱动/传动系统机电耦合建模及同步特性研究[J]. 机械工程学报, 2018, 54(7): 63-73.
- [6] 张庆玲. 高职机电一体化技术专业现代学徒制实践探索[J]. 职业技术教育, 2014, 35(14): 27-29.
- [7] 訾鹏, 周孝信, 田芳, 等. 双馈式风力发电机的机电暂态建模[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(5): 1106-1114.
- [8] 顾卓远, 汤涌, 刘文焯, 等. 双馈风力发电机组的电磁暂态-机电暂态混合仿真研究[J]. 电网技术, 2015, 39(3): 615-620.
- [9] 刘畅, 王宏伦, 姚鹏, 等. 面向空中威胁的无人机动态碰撞区建模与分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2015, 41(7): 1231-1238.
- [10] 李正英, 刘斌, 杨跃威. 强震作用下曲线连续梁桥碰撞响应分析[J]. 建筑结构学报, 2016, 37(s1): 349-355.
- [11] 金国光, 武光涛, 畅博彦, 等. 机械臂接触碰撞动力学分析[J]. 农业机械学报, 2016, 47(11): 369-375.
- [12] Wu C, Wang Y, He Z, et al. Research on Foreign Insoluble Particulate Detection Method for Medicinal Solution Based on Machine Vision [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36(7): 1451-1461.
- [13] 文韬, 龚中良, 陈飞, 等. 《机电一体化系统设计》课程的项目教学实践[J]. 中南林业科技大学学报(社会科学版), 2014, 8(4): 167-169.
- [14] 于蓬, 章桐, 余瑶, 等. 考虑电机控制策略影响的电动车动力总成振动分析[J]. 振动与冲击, 2016, 35(19): 50-57.
- [15] Li B, Liu J, Ma H J. Analysis on the Population Collision Process of Seeder Based on Linear Viscoelastic Model [J]. Open Cybernetics & Systemics Journal, 2015, 9(1): 1223-1227.

收稿日期: 2018-07-07
修改稿日期: 2018-09-17