

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2005291

自动售烟机分拣系统模块化设计及仿真验证^{*}

谢任林 张志强

(北京信息科技大学 北京 100192)

摘要:为了解决自动售烟机机械结构模块化设计时,采用模糊聚类算法得出的模块划分结果无法得到有效验证的问题,提出一种根据运动学和动力学仿真数据来验证模糊聚类结果是否合理的方法。首先,根据各个零件的功能、几何、物理相关性建立模糊聚类原始矩阵,通过夹角余弦公式将原始矩阵转换为模糊相似矩阵;然后,由模糊相似矩阵通过传递闭包的算法得到模糊等阶矩阵,由模糊等阶矩阵取不同的阈值形成动态聚类树;最后,由 Adams 软件对模糊聚类后的核心模块进行运动学和动力学仿真,由仿真结果判断模糊聚类的结果是否合理。实验表明,使用所提出方法进行模糊聚类结果判定时,可以有效判断模糊聚类的结果是否合理。

关键词:自动售烟机;模块化设计;模糊聚类;运动学仿真

中图分类号: TP 391.9 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.60

Modular design method of sorting system of automatic cigarette selling machine

Xie Renlin Zhang Zhiqiang

(Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100192, China)

Abstract: In order to solve the problem that the partition results obtained by using fuzzy clustering algorithm cannot be verified effectively in the modular design of the mechanical structure of cigarette vending machine, this paper proposes a method to verify the rationality of fuzzy clustering results based on kinematics and dynamics simulation data. Firstly, the original fuzzy clustering matrix is established according to the function, geometry and physical correlation of each part, and the original matrix is transformed into the fuzzy similarity matrix by the included angle cosine formula. Then, the fuzzy equal-order matrices is obtained by using the transitive closure algorithm, and the dynamic clustering tree is formed by taking different thresholds from the fuzzy equal-order matrices. Finally, Adams software is used to simulate the kinematics and dynamics of the core module after fuzzy clustering, and the simulation results are used to judge whether the fuzzy clustering results are reasonable or not. The experiment shows that the fuzzy clustering results can be judged effectively by using the method presented in this paper.

Keywords: automatic cigarette vending machine; modular design; fuzzy clustering; dynamic simulation

0 引言

随着社会经济的发展,诸如自动售药机、售货机、售烟机等机械系统结构越来越复杂,且结构设计时需要多次复杂且耗时的仿真建模^[1]。而产品的模块化设计作为一种省时和高效的结构设计方法,在结构设计、电路设计、故障诊断等领域有着广泛的应用。

对于结构的模块化设计,要点在于模块的形成,这里依据客户要求以及各个产品零件在功能、几何和物理上的相关性大小,通过模糊聚类分析方法对产品结构进行模块

划分。

自动售烟机将人脸识别、扫码支付、自动出货等功能有效的组合起来,保证了自动售烟机工作的可靠性和高效性。对不同储烟货道上的烟进行自动分拣是本产品设计的核心,分拣机构工作的准确性和效率性直接影响到机器自动出烟的质量。因此,为了保证分拣机构设计的合理性,将借助 MATLAB 运用模糊聚类的方法进行模块化设计。为了验证自动售烟机的分拣模块划分的合理性,将聚类好的对应模块用 Adams 软件进行仿真验证。

收稿日期:2020-11-01

^{*} 基金项目:北京市教委科研计划科技一般项目(KM202011232011)资助

1 建立功能元件的原始矩阵

设计一款新机械产品时,在满足客户要求的前提下,由经验设计理论绘制机械产品的工作流程如图 1 所示,由此流程图可把机械产品模糊的分为不同的功能模块,分别是身份识别模块、顾客选购模块、储货模块、补货模块、扫码支付模块、自动分拣模块、自动出烟模块,本产品核心机构是自动分拣模块,因此又把自动分拣模块划分解为多个独立而又存在联系的功能元,根据各个功能元件之间存在的几何、物理和功能关系,建立对应的几何关联矩阵、物理关联矩阵、功能关联矩阵,并通过关系加权平均值算法把元件之间的综合关系度确定下来,由此形成原始矩阵,然后由模糊聚类的计算法则对原始矩阵进行计算,最后形成功能模块划分方案^[2],具体流程如图 2 所示。

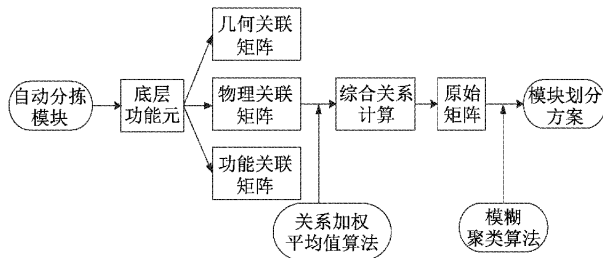


图 1 模糊聚类流程

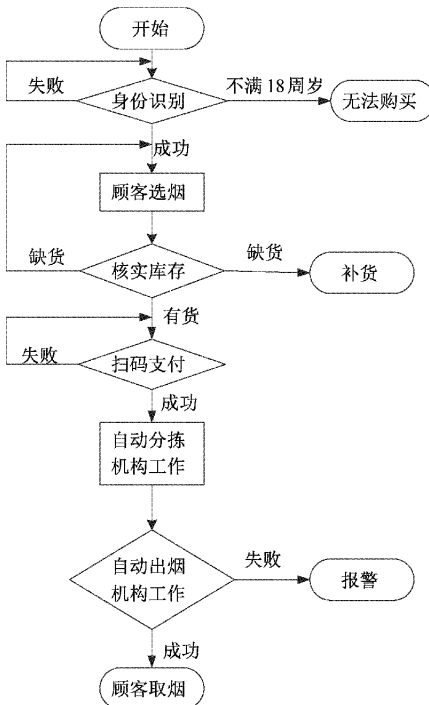


图 2 自动售烟机的工作流程

1.1 功能相关性

功能元件之间的功能相关性是指元件之间为实现同一功能而存在的交互关系,以此对产品进行模块划分,并保证

模块功能的独立性^[3],其评定标准如表 1 所示。

表 1 功能相关性定义

相关性描述	相关数值
两功能元共同完成某功能	1.00
两功能元辅助关系较强	0.50~0.99
两功能元辅助关系较弱	0.01~0.49
无功能关系	0

1.2 几何相关性

几何相关性是指元件之间在形状和位置上的圆度、直线度、倾斜度、对称度等几何关系,其评定标准如表 2 所示。

表 2 几何相关性定义

相关性描述	相关数值
不可拆分	1.00
零部件之间较难拆分	0.50~0.99
零部件之间拆分比较容易	0.01~0.49
零部件之间无关系	0

1.3 物理相关性

物理相关性主要是指元件之间的能量、信号、物料的传递关系,其评定标准如表 3 所示。

表 3 物理相关性定义

相关性描述	相关数值
有能量流的关系	1.00
有信息流的关系	0.50~0.99
有物料流的关系	0.01~0.49
无物理关系	0

1.4 建立原始矩阵

根据上述表 1~3 的相关性数据以及关系加权平均值公式就可以建立原始矩阵^[4]。

元件 $i, j (i, j = 1, \dots, n)$ 之间的关系加权平均值为:

$$R(i, j) = \sum_{m=1}^M R_{gm}(i, j)\mu_{gm} + \sum_{n=1}^N R_{jn}(i, j)\mu_{jn} + \sum_{k=1}^K R_{wk}(i, j)\mu_{wk} \quad (1)$$

式中: $R(i, j)$ 表示元件经加权平均算法计算后的相关性数值; $R_{gm}(i, j)$ 表示元件 i, j 之间的功能相关性; $R_{jn}(i, j)$ 表示元件 i, j 之间的几何相关性; $R_{wk}(i, j)$ 表示元件 i, j 之间的物理相关性; $\mu_{gm}、\mu_{jn}、\mu_{wk}$ 表示元件 i, j 在功能、几何和物理相关性上所占的权重比,且满足 $\mu_{gm} + \mu_{jn} + \mu_{wk} = 1$ 。

由此得到元件之间关系的原始矩阵 R 为:

$$R = \begin{bmatrix} R(1,1) & \cdots & R(1,n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ R(n,1) & \cdots & R(n,n) \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中： $0 \leq R(i,j) \leq 1$ 且 $R(i,j) = R(j,i)$ 。

2 由模糊聚类算法完成模块划分

原始矩阵确定后,需要将其代入特定数学公式转为模糊相似矩阵,然后通过模糊聚类算法中的传递闭包的方法把矩阵转为模糊等价矩阵,最后由 $1 \sim 0$ 取不同的阈值,进而形成动态聚类树,由动态聚类树就可以得出,当阈值到达一定值时,自动售烟机的分拣机构刚好被分为几个不同的功能模块。

原始矩阵数据的准确性会直接影响到后面动态聚类树的结果,进而影响到机械产品的模块划分结果,因此,当模块划分明显出错时,在算法没错的前提下,就应当重新考虑原始矩阵的相关参数。

2.1 相似系数计算

算出统计量 r_{ij} 的公式有很多,采用三角函数中的夹角余弦公式作为输入、输出量的相似系数^[3]。

$$r_{ij} = \frac{(\sum_{k=1}^m x_{ik}x_{jk})}{\sqrt{(\sum_{k=1}^m x_{ik}^2)(\sum_{k=1}^m x_{jk}^2)}} \quad (3)$$

式中： x_{ik} 表示第 i 个元件的第 k 个元素的数据； x_{jk} 表示第 j 个元件的第 k 个元素的数据。

2.2 通过 MATLAB 完成复杂结构的模糊聚类

通过夹角余弦算法得出模糊相似矩阵 \bar{R} ,表达了样本间的相似度^[6],有自反性 $r_{ij} = 1$ 和对称性 $r_{ij} = r_{ji}$,无传递性 $\bar{R} \circ \bar{R} \subseteq \bar{R}$, \bar{R}^* 是传递闭包,由如下平方法求得:

$$\bar{R}^* = \bar{R} \circ \bar{R} \quad (4)$$

式中： \circ 为 \bar{R} 和 \bar{R} 矩阵的合成运算； $\bar{R}^* = \bigvee_{i=1}^n (r_{ij} \wedge r_{ji})$, \bigvee 表示对数据取大运算, \wedge 表示对数据取小运算。

得到模糊相似矩阵 \bar{R} 后,将其进行模糊等价运算得到传递闭包 \bar{R}^* ,而得到的 \bar{R}^* 就是论域里的 1 个模糊等价矩阵,最后由 $1 \sim 0$ 取不同的阈值 λ ,可形成动态聚类树。当机械产品较复杂即矩阵阶数较大时可以借助 MATLAB 算出模糊等价矩阵并形成动态聚类树。

3 分析实际机械产品

以自动售烟机的分拣机构为例,对其各元件进行模块划分^[7]。该机构主要由 86 闭环步进电机 1、步进电机联轴器 2、垂直滑台联轴器 3、垂直丝杆滑块 4、垂直滚珠丝杆 5、垂直滑台导轨 6、水平丝杆滑台安装板 7、垂直丝杆滑台传动轴 8、同步带 9、U 型杆 10、旋转电磁铁 11、旋转电磁铁安装板 12、水平丝杆滑块 13、水平滚珠丝杆 14、水平丝杆滑台联轴器 15、水平丝杆电机 16 和水平滑台导轨 17 等构成,如

图 3(a)、(b)所示。当机构需要上下移动时,步进电机通过联轴器和同步带同时驱动左右两边的垂直丝杆滑台工作,垂直丝杆滑台由联轴器,滚珠丝杆以及导轨组成(运动方式在水平丝杠滑台进行介绍);当机构需要水平移动时,水平丝杆电机驱动联轴器,由联轴器转动驱动滚珠丝杆工作,滚珠丝杆带动水平丝杆滑块在水平丝杆导轨上水平移动;当需要取烟时,通过旋转电磁铁驱动 U 型杆从下往上旋转,此时货道里的第 1 个盒烟受到两个力,1 个是 U 型杆给它的向上的力,还有 1 个就是来自后面烟盒往前的推力,此处烟盒的后方受力在下文的出烟模块会做介绍,此时第 1 个烟盒就会被往前顶起落到出货料斗里。由分拣机构各元件的工作关系确定此分拣模块的权重因子,如表 4 所示。

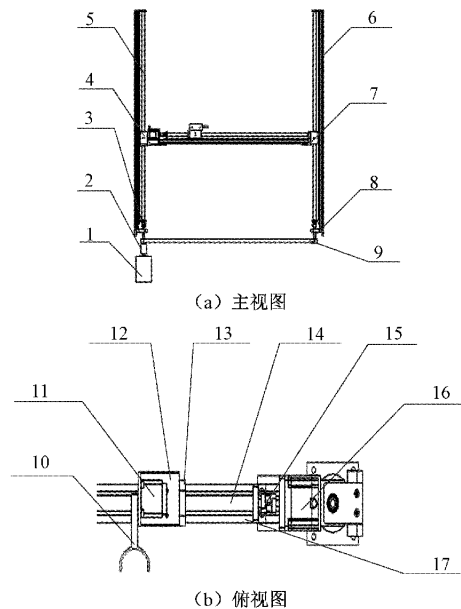


图 3 自动售烟机的分拣机构示意图

表 4 分拣模块的权重因子

权重因子	数值
功能相关性	0.7
几何相关性	0.1
物理相关性	0.2

将表 4 分拣模块的权重因子代入到式(1)中,由此得到原始矩阵,如 86 步进电机 1 和步进电机联轴器 2 之间的相似性 $R(1,2)$ 为:

$$R(1,2) = 0.89 \times 0.7 + 0.72 \times 0.1 + 0.83 \times 0.2 = 0.861$$

然后结合式(3)中的相似系数 r_{ij} 算出模糊相似矩阵 \bar{R} ,之后将模糊相似矩阵 \bar{R} 进行传递闭包运算得到模糊等价矩阵 \bar{R}^* ;

1.000 0	0.861 0	0.832 0	0.799 0	0.832 0	0.799 0	0.799 0	0.861 0	0.861 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0
0.861 0	1.000 0	0.832 0	0.799 0	0.832 0	0.799 0	0.799 0	0.861 0	0.861 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0
0.832 0	0.832 0	1.000 0	0.799 0	0.832 0	0.799 0	0.799 0	0.832 0	0.832 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0
0.799 0	0.799 0	0.799 0	1.000 0	0.799 0	0.799 0	0.799 0	0.799 0	0.799 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0
0.832 0	0.832 0	0.832 0	0.799 0	1.000 0	0.799 0	0.799 0	0.832 0	0.832 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0
0.799 0	0.799 0	0.799 0	0.799 0	0.799 0	1.000 0	0.799 0	0.799 0	0.799 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0
0.799 0	0.799 0	0.799 0	0.799 0	0.799 0	0.799 0	1.000 0	0.799 0	0.799 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0
0.861 0	0.861 0	0.832 0	0.799 0	0.832 0	0.799 0	0.799 0	1.000 0	0.861 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0
0.861 0	0.861 0	0.832 0	0.799 0	0.832 0	0.799 0	0.799 0	0.861 0	1.000 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0
0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	1.000 0	0.799 0	0.799 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0
0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.799 0	1.000 0	0.861 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0
0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.799 0	0.861 0	1.000 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0
0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	1.000 0	0.861 0	0.832 0	0.799 0	0.861 0	0.751 0
0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.861 0	1.000 0	0.832 0	0.799 0	0.861 0	0.751 0
0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.832 0	0.832 0	1.000 0	0.799 0	0.832 0	0.751 0
0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.799 0	0.799 0	0.799 0	1.000 0	0.799 0	0.751 0
0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	0.751 0	1.000 0	0.751 0

由模糊等阶矩阵以及相似系数的意义就可以得到不同零件是否属于同一模块的相似程度^[3]。

最后由 MATLAB 程序实现对矩阵 \bar{R}^* 由 1~0 选取不同阈值 λ ,并自动生成动态聚类树,如图 4 所示,由聚类树可以看出当 $\lambda = 0.799$ 时,分拣机构刚好被分为 3 个模块,即 {1,2,3,4,5,6,7,8,9} 聚类组成垂直移动模块; {10,11,12} 聚类组成旋转取货模块; {13,14,15,16,17} 聚类组成水平移动模块^[3]。

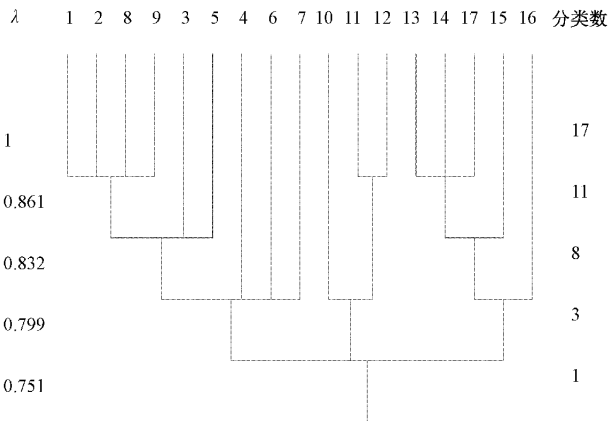


图 4 分拣机构动态聚类树

根据上述的模糊聚类方法并结合机械结构设计的功能性、可靠性、经济性等要求,本产品的自动出烟结构的模糊聚类如图 5 所示,图中 1 是储烟槽;2 是弹簧推烟器,将其设计在烟槽 1 中;3 是水平丝杠上的 U 型杆;4 是设计在水平丝杠上的出烟料斗。具体工作流程将在第 4 节展开陈述。

以上就是本机械产品的模块化设计方案,该产品的模糊聚类是否合理,将通过 Adams 仿真对关键模块进行验证。

4 模糊聚类的合理性验证

4.1 自动出烟模块

由于自动售烟机整体机构较复杂,为了保证仿真效

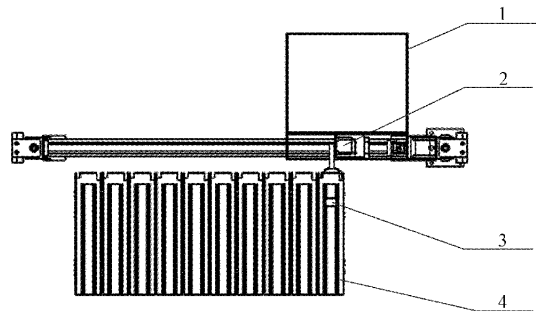


图 5 储烟模块和自动出烟模块

率,根据前面各结构模糊聚类结果,在能够满足自动出烟的前提下,尽量简化仿真模型。因此只针对自动出烟模块进行仿真^[8]。自动出烟模块由储烟槽 1、弹簧推烟器 2、烟盒 3、U 型杆 4、旋转电磁铁 5、出烟料斗 6 组成,如图 6 所示,储烟槽中的弹簧推烟器在烟盒还未弹出储烟槽之前,会持续给烟盒 1 个向前的水平推力,此时的烟盒在储烟槽的限位下处于平衡状态,旋转电磁铁正向通电,U 型杆开始向上旋转,当 U 型杆顶端旋刚好触碰到烟盒底部时,会给烟盒 1 个向上的力,烟盒在向上的力和向前的力的作用下就会弹出储烟槽,并掉落在出烟料斗中。主要结构参数如表 5 所示。

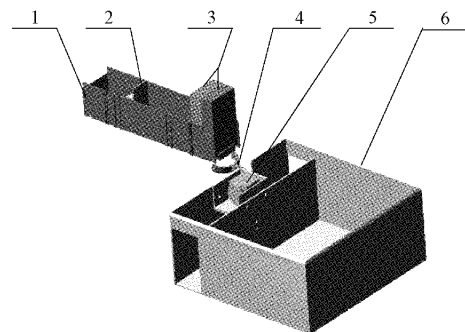


图 6 自动出烟模块三维图

表5 自动出烟机构主要参数

类别	参数
弹簧推烟器的水平推力/N	37
单盒烟重量/g	25
烟盒表面静摩擦系数	0.30
旋转电磁铁力矩/N·m	0.078
旋转电磁铁额定电压/V	24
旋转电磁铁额定电流/A	0.39
旋转电磁铁工作频率	50次/s(25个往复)
U型杆重/g	25
U型杆长/mm	80

4.2 自动出烟机构运动学模型建立和仿真分析

1) 自动出烟机构运动学和动力学模型建立

自动出烟机构的仿真主要是检验在U型杆和推烟器水平推力的作用下,烟盒能否弹出储烟槽落到出烟料斗里。由于旋转电磁铁正向通电旋转90°时做有用功,反向通电旋转时做无用功,所以只分析旋转电磁铁在正向通电时的仿真情况。

将SolidWorks中的三维模型导入到Adams中,将各零件重命名并添加材料属性,根据各零件的运动性质添加各约束^[9]:旋转电磁铁和U型杆为转动副,旋转电磁铁为主动件,并添加旋转驱动;烟盒和弹簧推烟器为移动副,弹簧推烟器水平向前推力设置为3N;烟盒的外包装材料是双向拉伸聚丙烯薄膜(BOPP),查文献[10]得BOPP间的动摩擦因数设置为0.25,静摩擦因数设置为0.3。储烟槽和烟盒以及弹簧推烟器之间要添加接触力约束,第1个弹出的烟盒要和出烟料斗之间添加接触力约束,U型杆和弹出的烟盒之间添加接触力约束^[11]。

旋转电磁铁转动副驱动的角速度由电机扭矩公式:

$$T = \frac{9550P}{n} \quad (5)$$

式中: T 表示扭矩,单位是 $N \cdot m$; P 表示输出功率, $P = P_{额} \times 95\%$; n 表示电机转速,单位是 r/min 。

得: $n = 1088.7 r/min$, 等于 $18.145 r/s$, 由于转动一次为 90° , 则角速度 $\omega = 1633.05 rad/s$ 。

2) 自动出烟机构运动学模型仿真分析

自动出烟模块添加相应驱动参数后,对弹出的烟盒进行仿真分析,仿真时间为1s,仿真步数设置为200步^[12]。仿真结果如图7~14所示,由图7得出曲线起始点和最低点的距离为295mm,为了保证烟盒顺利落到出烟料斗中,出烟料斗离烟盒最远的那个边的水平距离要大于295mm。

由图8得出曲线的顶点和起始点的距离为57mm,因此上下两层储烟槽间的垂直距离要大于57mm,否则弹出的烟盒会撞到上一层储烟槽,影响出烟结果。

由图9曲线可以得出,弹出的烟盒以一定加速度上升

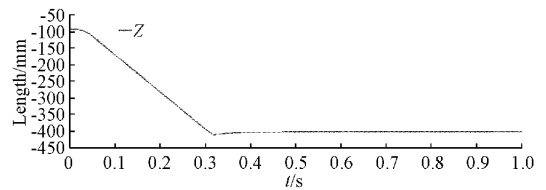


图7 Z轴方向烟盒1位移曲线

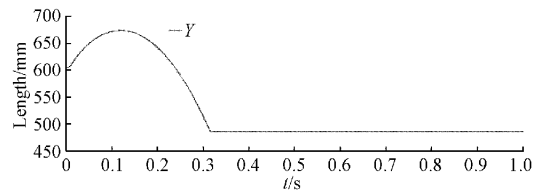


图8 Y轴方向烟盒1位移曲线

到一定高度后就会以自由落体的形式下落,最终落到出烟料斗里,速度变为0^[13]。

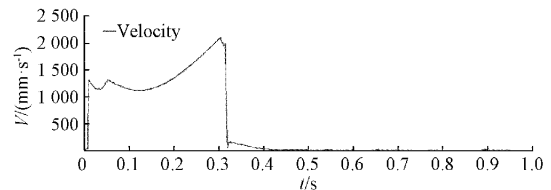


图9 烟盒1总速度曲线

由图10可得烟盒2的移动时的速度在0.06s时达到最大,最大为1005mm/s。由图11可得移动副在0.06s内的位移是23mm,移动距离和烟盒宽度大小一致,符合设计要求。

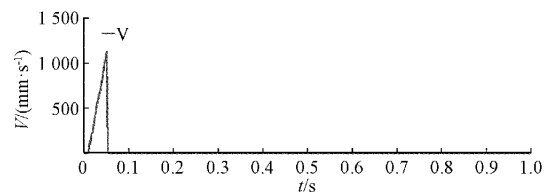


图10 烟盒2总速度曲线

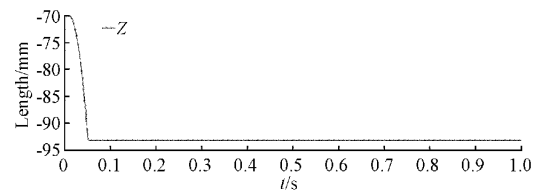


图11 Z轴方向烟盒2位移曲线

由图12可得U型杆在1s内的转动位移为周期性变化,变化周期由图13为1125d/s,比电机的实际输出角速度小,符合设计要求。

由图14的轨迹线可以清晰地看到烟盒弹出后的轨迹曲线,烟盒运动的轨迹以抛物线的形式自由落下,最终落到出烟料斗里。

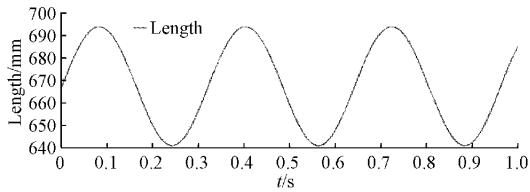


图 12 U 型杆总位移曲线

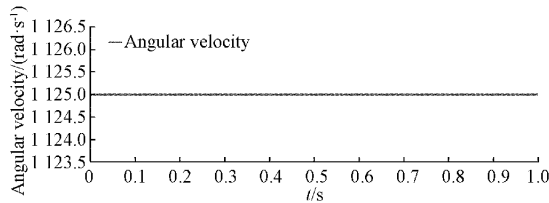


图 13 U 型杆总角速度曲线

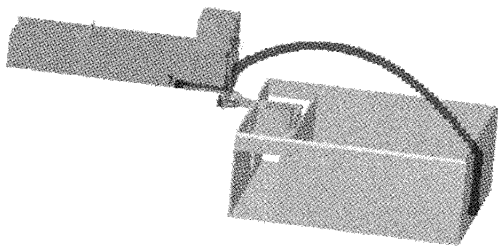


图 14 烟盒 1 运动轨迹线

3) 自动出烟机构动力学模型仿真分析

自动出烟模块添加相应驱动参数后,对 U 型杆进行仿真分析,仿真时间为 1 s,仿真步数设置为 200 步^[14]。仿真结果如图 15~17 所示,由图 15 可得,U 型杆 D 型口处转动副的力在 0.01 s 内瞬间达到了 0.41 N,受到的力是由 U 型杆和烟盒 1 的碰撞引起的。由图 16 可知,D 型口处转动副的力矩在 0.01 s 内达到了 0.05 N·m,小于电机的额定力矩,符合实际要求,故仿真是正确的。

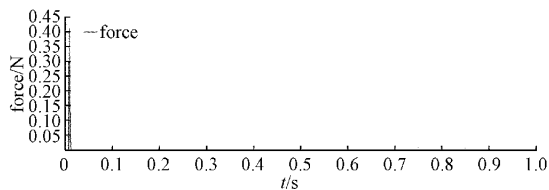


图 15 转动副力曲线

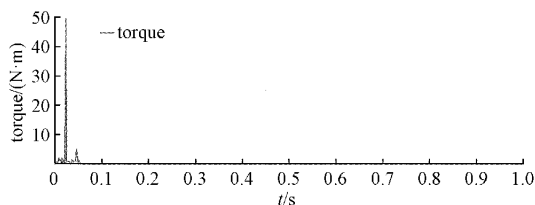


图 16 转动副力矩曲线

自动出烟机构中旋转电磁铁是主动件,U 型杆是从动

件,从动件的强度大小决定着自动出烟的效果,因此 U 型杆设计的是否合理,将通过有限元分析的结果来判断。

U 型杆运动的过程中,只有当 U 型杆顶端刚好接触烟盒 1 底部时的接触力才受力,受力大小由图 17 可知,最大接触力约为 2.4 N。

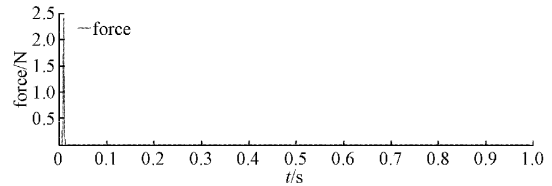


图 17 U 型杆和烟盒 1 的接触力曲线

5 结 论

近几年我国的仿真技术得到飞速发展,其应用早已从起初的航空航天、火力发电扩展到如今的机械制造、电子、通信等行业中^[15]。针对目前模糊聚类的结果无法得到有效验证的问题,提出了一种由动力学和运动学仿真数据对模糊聚类的结果进行验证的方法,很大程度上解决了模糊聚类结果得不到有效验证的问题。由仿真结果同时可以得到自动售烟机结构的尺寸大小,极大地缩短了机械产品的设计周期。此方法为设计具有强鲁棒性的自动售烟机的控制系统提供了理论依据。

参考文献

- [1] 杨新民,杨海根. 动力学参数化可视化仿真软件研究与设计[J]. 电子测量技术,2016,39(12):15-20,26.
- [2] 沈敏德,陈照强,张绪鹏,等. 盒装药品自动分拣系统的模块化设计方法[J]. 机械设计,2011,28(10):11-14.
- [3] 滕晓艳,张家泰. 产品模块化设计方法的研究[J]. 应用科技,2006(2):62-64.
- [4] 高飞,肖刚,潘双夏,等. 产品功能模块划分方法[J]. 机械工程学报,2007(5):29-35.
- [5] 荆红莉,赵鹏. 基于模糊控制的光伏发电系统 MPPT 设计[J]. 国外电子测量技术,2016,35(1):80-83.
- [6] 杨艺芳,王宇平. 基于核模糊相似度度量的谱聚类算法[J]. 仪器仪表学报,2015,36(7):1562-1569.
- [7] 张雪莲. 船用柴油机模块化设计方法研究[D]. 镇江:江苏科技大学,2010.
- [8] 任申. 智能售药机机械结构设计与研究[D]. 唐山:华北理工大学,2019.
- [9] GOMEZ-LOPEZ B M. Simulation and modeling of single point incremental forming processes within a solidworks environment [J]. Procedia Engineering, 2013, 22(6):63.
- [10] 周先进,赵燕,吴增青. BOPP 烟膜的摩擦系数研究[J]. 塑料包装,2006(1):43-45.
- [11] CHANG D G, LI H, XIAO ZH J, et al. Kinematics

- simulation of air splicer shearing mechanism based on ADAMS[C]. 2009 Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation-ICICTA2009, IEEE Computer Society, 2009: 75-77.
- [12] 江子旺,冯樱,乔宝山,等.基于 Adams 的飞机登机桥运动建模与仿真[J].湖北汽车工业学院学报,2020,34(2):77-80.
- [13] 胡明,邓宗全,高海波,等.基于 ADAMS 的六轮月球车动力学建模与仿真[J].哈尔滨工业大学学报,2007(1):28-31.
- [14] 吕鲲,袁扬.基于 ADAMS 的六杆机构运动学及动力学仿真分析[J].河南理工大学学报(自然科学版),2012,31(5):555-560.
- [15] 刘坤,方芳,王伟.基于 MATLAB/RTW 的通信模块的设计与实现[J].电子测量与仪器学报,2015,29(2):296-301.

作者简介

谢任林,硕士研究生,主要研究方向为机械设计与仿真、图像识别。

E-mail: xierl163@163.com