

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 3 月 5 日 (05.03.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/041955 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06F 17/50 (2006.01) G06Q 10/06 (2012.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2018/102608
- (22) 国际申请日: 2018 年 8 月 28 日 (28.08.2018)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (71) 申请人: 大连理工大学 (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。
- (72) 发明人: 刘阔 (LIU, Kuo); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 刘海波 (LIU, Haibo); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning

116024 (CN)。 李特 (LI, Te); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 褚恒 (CHU, Heng); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 王永青 (WANG, Yongqing); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 贾振元 (JIA, Zhenyuan); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。

- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,

(54) Title: METHOD FOR EVALUATING COMPREHENSIVE PERFORMANCE OF NUMERICAL CONTROL MACHINE TOOL BASED ON IMPROVED PULL-APART GRADE METHOD

(54) 发明名称: 一种基于改进型拉开档次法的数控机床综合性能评价方法

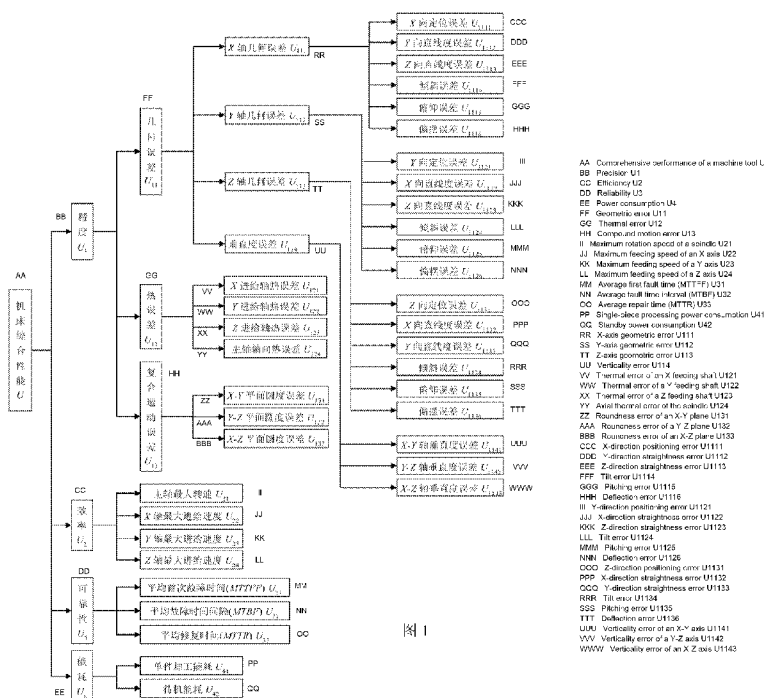


图 1

(57) Abstract: A method for evaluating a comprehensive performance of a numerical control machine tool based on an improved pull-apart grade method, relating to the technical field of performance evaluations of numerical control machine tools. The method comprises: performing standardization processing on performance index data of the machine tool by using a linear proportional method; determining a subjective weight of each index according to an order relation analysis method; determining two objective weights of each

MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

index by using an entropy weight method and a mean square deviation method; synthesizing information of the subjective and objective weights on the basis of the principle of a vector Pearson correlation coefficient; performing weighting processing on an index by using a comprehensive weight; determining a final weight coefficient of the index by means of a positive definite matrix corresponding to a weighted index matrix, and obtaining a comprehensive evaluation value of a third-level index on the basis of a linear weighted evaluation function; and finally, calculating a comprehensive evaluation value of a large-scale system upwards layer by layer by using a similar method. The present invention is used for comprehensive performance evaluations of various numerical control machine tools and lateral comparison of specific performances of different machine tools, and provides a scientific and operable evaluation method and procedure for comprehensive performance evaluations of the machine tools.

(57) 摘要: 一种基于改进型拉开档次法的数控机床综合性能评价方法, 属于数控机床性能评价技术领域。采用线性比例法对机床的各项性能指标数据进行标准化处理。依据序关系分析法确定各级指标的主观权重, 采用熵权法和均方差法确定各级指标的两种客观权重, 基于向量皮尔森相关系数的原理综合主客观权重信息。利用综合权重对指标进行权化处理, 通过权化指标矩阵对应的正定矩阵确定指标的最终权重系数, 并基于线性加权评价函数求得三级指标的综合评价价值。最后采用类似的方法逐层向上计算得到大系统的综合评价价值。用于对各种数控机床的综合性能评价, 以及不同机床具体性能的横向对比, 为机床综合性能评价提供了一种科学的、可操作的评价方法和流程。

一种基于改进型拉开档次法的数控机床综合性能评价方法

技术领域

本发明属于数控机床性能评价技术领域，具体为一种基于改进型拉开档次法和综合集成赋权的数控机床性能综合评价方法。

背景技术

数控机床作为机械制造的基础装备，加工性能受到诸多因素的影响，并最终反映到产品质量的优劣上。因此要得到综合性能良好的产品，必须要提高机床的加工性能。性能测评是其中的关键一环，在加工一批零件之前对数控机床进行全面、综合的评价，掌握数控机床当前的运行状况，从而保证数控机床能工作于性能优良的状态，进而避免了机床加工性能满足不了产品性能要求的问题。为保证零件加工的质量，目前常用的方法都是对成品零件进行各项质量检查，发现问题后再解决。这种方法的效率低、误差大，不仅延长了生产周期，而且大大增加了生产成本。理想的解决办法是对数控机床的关键性能指标进行定期检测，发现精度、效率、可靠性和能耗的变化，据此判断影响机床加工性能的因素，并做出针对性的补偿或改进。

数控机床综合性能评价是区分机床性能状况的重要手段，对优化数控机床设计方案具有重要意义，同时也是用户选择适合工况数控机床的参考依据。

目前，数控机床的加工性能评价较为局限，大多是就机床精度或可靠性这一方面进行评价，采用的评价方法和理论也较为单一，对机床综合性能的评价研究较少。然而，对于实际生产应用，仅仅考虑机床某一方面的性能是不全面、不可靠的。用户在选择机床时，综合性能的全面测评显得尤为必要。2010年，刘世豪等在《山东大学学报》第40期第1卷发表文章《基于层次分析法的数控机床性能模糊综合评判》，利用层次分析法建立了数控机床综合评价模型，确定

了各层指标的权重系数，通过模糊算子和权重向量得到模糊综合评判结果，并对卧式加工中心的综合性能进行了评价。2012 年，孙惠娟等在《四川大学学报》第 44 期第 6 卷发表文章《五轴数控机床综合误差建模评价方法研究》，提出了一种针对几何、伺服误差的机床精度综合评价模型，并通过圆测试实验进行了模型验证。2017 年，王伟等在《机械工程学报》第 53 卷第 21 期发表文章《基于综合评价体系的五轴数控机床加工性能评价和误差溯源方法》，通过仿真平台建立了机床控制系统参数 S 试件加工误差之间的映射关系，在各轴分类评价隶属度的基础上开发了误差溯源的综合评价体系，最后通过某五轴 AB 摆数控机床的切削试验，验证了方法的有效性。2011 年，刘弹等在专利“一种基于粗糙集的数控机床两轴联动性能评估方法”申请号：201110434047.5 中，通过粗糙集理论对初始决策表进行多属性离散化处理，将约简结果与两轴联动性能决策表进行对比匹配获得评估结果。2017 年，李国发等在专利“一种考虑工况差异的数控机床可靠性评估的方法”申请号：201711273428.3 中，建立了考虑工况差异的数控机床混合变参数幂律分布可靠性模型，并对幂律分布进行假设检验。

综上所述，尽管目前专家学者对数控机床的性能评价进行了较多的研究，但是大多是基于精度或是可靠性等某一个方面的指标进行评价，对综合性能进行全面评价的研究较少。此外，少数几个对数控机床加工性能进行综合评价的研究也几乎都是基于多级模糊综合评价理论，虽然模糊评价适应了数控机床某些指标的模糊特性，且给出的具有鲜明等级特征的评价结果较为直观，一定程度上克服了传统数学评价方法结果较为单一的问题，但是仍存在一些不足之处：它难以解决指标间的关联性造成评价信息具有较大重复性的问题；没有系统、可靠的方法确定隶属度函数；且评价过程包含了大量的主观判断。

发明内容

本发明的目的在于提供一种基于改进型拉开档次法的机床综合性能评价方法，该方法的评价结果不仅具有较高的区分度，且便于各大系统以及子系统之间的纵向或横向对比，解决机床综合性能无法进行量化评估的问题，为机床综合性能的评价提供系统、科学的依据。

本发明的技术方案：

一种基于改进型拉开档次法的数控机床综合性能评价方法，步骤如下：

（一）数控机床关键性能指标体系的建立

数控机床关键性能指标归结为精度、效率、可靠性和能耗四方面，不同方面的因素对数控机床综合性能的影响有较大不同，将指标种类进行划分并分析从属关系，建立多层次的指标集，逐级构建评价体系；对于数控机床的关键性能指标，作如下分级：

第一级：数控机床的精度、效率、可靠性和能耗；

第二级：精度下属几何误差、热误差和复合运动误差三个二级指标，以及其它三个一级指标隶属的具体指标；

机床正常工作时在不同轴向、平面上的误差表现形式和大小都不同，因此补充分级，有：

第三级：精度下属二级指标体现在不同轴和平面上的误差，包括 X 轴几何误差、垂直度误差、X 进给轴热误差及 X-Y 平面圆度误差；

机床运动部件沿不同轴向移动时相对理想位置偏离的形式及大小都不同，故继续对几何误差下属三级指标分级，有：

第四级：每个轴的各项移动性误差和转角误差，三轴之间垂直度误差；

各级评价指标之间的隶属关系是确定的，按照多级综合评价的一般过程，

最终确定如图 1 所示具有四级结构的数控机床关键性能指标体系；

(二) 获取评价指标原始数据

机床性能数据通过激光干涉仪、球杆仪等装置获取，对 m 台数控机床的 n 项性能指标进行评价，构建 $m \times n$ 阶评价指标原始数据矩阵；

(三) 评价指标预处理

首先将所有指标统一为极大型，选择能使评价值差异较大、稳定性最优、最大限度保留数据变异信息的线性比例法 m_j 作为无量纲化方法：

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{x_j'} \quad (1)$$

式中， x_j' 取为被评价对象样本中第 j 项评价指标的最小值；

(四) 序关系分析法确定主观权重

① 确定序关系

首先，在原始评价指标集中选出一个关于评价目标的重要性程度最高的指标记为 x_1 ，随后在剩下的 $m-1$ 个指标中继续筛选，以此原理类推，最终确定该评价指标集的一个序关系：

$$x_1 \succ x_2 \succ \cdots \succ x_m \quad (2)$$

② 相邻指标重要性程度判断

设对于排序相邻的评价指标 x_{k-1} 和 x_k 之间重要性程度比值的理性判断为

$$r_k = \frac{w_{k-1}}{w_k}, \quad k = m, m-1, \dots, 2 \quad (3)$$

式中， r_k 的值取为 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8，分别代表指标 x_{k-1} 比 x_k 同等重要，稍微重要，明显重要，强烈重要和极端重要；

③ 权重系数计算

根据重要性程度的判断即按下式求出指标的主观权重系数：

$$w_m = \left(1 + \sum_{k=2}^m \prod_{i=k}^m r_i \right)^{-1} \quad (4)$$

(五) 熵值法确定客观权重系数

① 对标准化数据进行归一化处理

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (5)$$

② 计算各项评价指标熵值

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (6)$$

式中, $k = \frac{1}{\ln n} > 0$, $e_j > 0$;

③ 确定归一化的权重系数

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^m g_j}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

式中, 各项评价指标的差异性系数 $g_j = 1 - e_j$;

(六) 均方差法确定客观权重系数

① 计算各项评价指标的均值

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

② 计算各项评价指标均方差

$$s_j^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

③ 确定归一化的权重系数

$$w_j = \frac{s_j}{\sum_{k=1}^m s_k}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

(七) 基于皮尔森相关系数的综合集成赋权

此方法的内涵是对具体的几种主、客观赋权方法进行相关性分析，得到单个权重向量与其他权重向量的量化相关程度，并以此来衡量各个赋权方法的相对重要性，突出稳定可靠的权重向量的作用；

对于任意两个权重向量 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, 对相关系数 $P(X, Y)$ 作如下定义：

$$P(X, Y) = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x}_i)(y_i - \bar{y}_i)}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x}_i)^2} \sqrt{\sum_i (y_i - \bar{y}_i)^2}} \quad (11)$$

式中， $\bar{x}_i$ 、 $\bar{y}_i$ 分别为 X 、 Y 的平均值， $P(X, Y) \in [-1, 1]$ ；当 $P(X, Y) = \pm 1$ ，表示两变量具有完全的线性相关性；当 $P(X, Y) = 0$ ，则表明两变量线性无关；

为了便于后续的计算，调整 $P(X, Y)$ 的取值区间，定义下式为两变量之间的相关度：

$$\gamma(X, Y) = \frac{1}{2} [P(X, Y) + 1] \quad (12)$$

进而给出某一权向量 W_k 与其余权向量的总相关度为

$$\gamma_k = \sum_{i=1, i \neq k}^l \gamma(W_i, W_k), \quad k = 1, 2, \dots, l \quad (13)$$

以总相关度衡量权重向量的重要性程度，确定综合集成赋权系数

$$\alpha_k = \frac{\sum_{i=1, i \neq k}^l \gamma(W_i, W_k)}{\sum_{k=1}^l \sum_{i=1, i \neq k}^l \gamma(W_i, W_k)} \quad (14)$$

(八) 基于改进型拉开档次法确定最终权重系数

首先对各评价指标进行区分重要性程度的权化处理

$$x_{ij}^{*(2,t,q)} = w_j^{(2,t,q)} x_{ij}^{(2,t,q)} \quad (15)$$

式中, $w_j^{(2,t,q)}$ 为表征指标重要性程度的综合集成权重系数; $x_{ij}^{(2,t,q)}$ 的含义为隶属于第 i 个大系统的第二层次子系统 $s_q^{(2,t)}$ 下属第 j 项指标的标准观测值, 其中 $i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, m_{tq}$; $t = 1, 2, \dots, n_1$; $q = 1, 2, \dots, m_t$; 进而得到权化指标矩阵

$$\mathbf{A}^{(2,t,q)} = \begin{bmatrix} x_{11}^{*(2,t,q)} & \dots & x_{1m_{tq}}^{*(2,t,q)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1}^{*(2,t,q)} & \dots & x_{nm_{tq}}^{*(2,t,q)} \end{bmatrix} \quad (16)$$

相应的正定矩阵为

$$\mathbf{H}^{(2,t,q)} = \left(\mathbf{A}^{(2,t,q)} \right)^T \mathbf{A}^{(2,t,q)} \quad (17)$$

采用线性加权综合法构造子系统的综合评价函数

$$y_i^{(2,t,q)} = \sum_{j=1}^{m_{tq}} b_j^{(2,t,q)} x_{ij}^{*(2,t,q)}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (18)$$

确定权重系数向量 $\mathbf{b}^{(2,t,q)}$ 的基本思想是最大程度反映不同评价对象相对于评价目标的差异性, 转化为数学语言, 即使线性综合评价函数 $y_i^{(2,t,q)}$ 对 n 个评价对象的综合评价值有最大化的离散程度;

若取 $\mathbf{b}^{(2,t,q)}$ 为正定矩阵 $\mathbf{H}^{(2,t,q)}$ 所有基本特征值中最大者所对应的特征列向量, 则评价值具有最大离散程度, 将特征向量归一化后得到指标权重系数向量, 由式(18)即求得所有评价对象子系统 $s_q^{(2,t)}$ 的综合评价值;

(九) 多级指标递阶评价

对于 Y 轴几何误差、Z 轴几何误差等三级指标, 热误差等二级指标, 效率、可靠性等一级指标下属的具体性能指标, 重复步骤(一)~(八);

对于几何误差下属 4 个三级指标 $U_{111} \sim U_{114}$ ，重复步骤(一)~(八)，得到不同机床几何误差综合评价值；需要指出的是，在根据三级指标评价值计算二级指标评价值时数据的数量级已具有一致性，故不再进行标准化处理；

对于精度下属 3 个二级指标 $U_{11} \sim U_{13}$ ，重复步骤(一)~(八)，得到不同机床的精度综合评价值。

本发明的有益效果：

(1) 本发明提出了一种基于改进型拉开档次法的数控机床综合性能评价方法，用于对各种数控机床的综合性能评价，以及不同机床具体性能的横向对比，同时得益于其“差异极大化”的赋权思想，综合评价值具有较高的区分度，为机床综合性能评价提供了一种科学的、可操作的评价方法和流程。

(2) 本发明规避了数控机床静态评价过程中采用单纯的主观或客观赋权存在的缺陷，利用基于皮尔森相关系数的综合集成赋权原理组合权重信息，突出了稳定可靠的权重向量的作用。

(3) 本发明是一种区分机床性能状况的重要手段，对优化数控机床设计方案具有重要意义，同时也是用户选择适合工况数控机床的参考依据。

附图说明

图 1 为数控机床关键性能指标体系树状图。

图 2 为基于改进型拉开档次法的数控机床性能递阶综合评价流程图。

具体实施方式

为了使本发明的技术方案和有益效果更加清晰明了，下面结合静态综合评价模型并参照附图，对本发明作详细说明。本实施例是以本发明的技术方案为前提进行的，给出了详细的实施方式和具体的操作过程，但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

(一) 建立数控机床关键性能指标体系

数控机床性能指标体系如图 1 所示。该系统可以分解为四个层次的子系统，即大系统：机床性能(S)；第一级子系统：精度($S_1^{(1)}$)、效率($S_2^{(1)}$)、可靠性($S_3^{(1)}$)、能耗($S_4^{(1)}$)；第二级子系统：几何误差($S_1^{(2,1)}$)、热误差 ($S_2^{(2,1)}$)、复合运动误差($S_3^{(2,1)}$)；第三级子系统： X 轴几何误差($S_1^{(3,1,1)}$)、 Y 轴几何误差($S_2^{(3,1,1)}$)、 Z 轴几何误差($S_3^{(3,1,1)}$)、垂直度误差($S_4^{(3,1,1)}$)。

(二) 评价指标原始数据的获取

以沈阳机床集团 4 台不同型号数控机床的性能测试部分历史数据为例，进行评价过程的演示。指标原始数据如表 1 所示。

表 1 数控机床性能指标原始数据

指标	单位	1 号机床	2 号机床	3 号机床	4 号机床
U_{1111}	mm	0.011	0.022	0.008	0.014
U_{1112}		0.009	0.026	0.019	0.012
U_{1113}		0.029	0.017	0.018	0.019
U_{1114}		0.000012	0.000015	0.000019	0.000023
U_{1115}		0.000009	0.000013	0.000018	0.000023
U_{1116}		0.000006	0.000017	0.000012	0.000007
U_{1121}	mm	0.015	0.013	0.021	0.029
U_{1122}		0.023	0.028	0.027	0.026
U_{1123}		0.017	0.031	0.013	0.021
U_{1124}		0.000021	0.000007	0.000016	0.000025
U_{1125}		0.000015	0.000016	0.000015	0.000014
U_{1126}		0.000014	0.000021	0.000019	0.000017
U_{1131}	mm	0.015	0.015	0.028	0.041
U_{1132}		0.019	0.016	0.013	0.010
U_{1133}		0.008	0.011	0.024	0.037
U_{1134}		0.000018	0.000023	0.000020	0.000017
U_{1135}		0.000022	0.000014	0.000009	0.000004

U_{1136}		0.000031	0.000024	0.000017	0.000010
续表 1					
指标	单位	1 号机床	2 号机床	3 号机床	4 号机床
U_{1141}		0.018	0.015	0.019	0.023
U_{1142}	mm	0.031	0.011	0.023	0.035
U_{1143}		0.014	0.018	0.026	0.034
U_{121}		0.064	0.051	0.092	0.133
U_{122}	mm	0.033	0.043	0.031	0.019
U_{123}		0.059	0.068	0.046	0.024
U_{124}		0.074	0.056	0.077	0.098
U_{131}		0.029	0.026	0.022	0.018
U_{132}	mm	0.025	0.019	0.031	0.043
U_{133}		0.018	0.027	0.024	0.036
U_{21}	rpm	12000	8000	12000	10000
U_{22}		30	24	28	32
U_{23}	m/min	32	28	30	36
U_{24}		34	29	32	38
U_{31}		1055	1124	1029	934
U_{32}	h	1327	1437	1376	1315
U_{33}		18	17	24	31
U_{41}	Kw	7.4	10.3	6.1	5.7
U_{42}		0.57	0.85	0.42	0.3

(二)评价指标预处理

根据线性比例法 m_j 将表 1 中所示 4 台数控机床所有底层指标数据构成的原始矩阵进行标准化处理, 得到标准观测矩阵。

(三) 序关系分析法确定主观权重

考虑对图 1 所示数控机床关键性能指标体系进行序关系分析, 需要进行专家评分表的设计, 咨询的对象是大连理工大学从事数控机床方面研究的教授,

他们拥有丰富的数控机床研究与实践经验，评分结果的可靠度较高。

序关系分析法的基本原理为：第一步进行评价指标相对重要性程度的排序，再对相邻指标进行重要性判断并赋值。以此为依据设计评分表，评价指标体系中 X 轴几何误差 U_{111} 下属六个四级指标的评分表如表 2 所示。其它各级指标评分表的设计方法类似，不再赘述。

以 X 轴几何误差下属四级指标重要性评分为例，参与评分的 3 位专家对六项四级指标的重要性程度给出的排序结果一致，即为 $U_{1111} \succ U_{1112} \succ U_{1113} \succ U_{1114} \succ U_{1115} \succ U_{1116}$ ，但重要性程度赋值有所不同，赋值向量（即表中各指标重要性程度之比赋值构成的向量）分别为 $[1.4, 1.0, 1.2, 1.0, 1.0]$ 、 $[1.5, 1.0, 1.3, 1.0, 1.0]$ 、 $[1.3, 1.0, 1.4, 1.0, 1.0]$ ，将 3 个赋值向量合并为 3×5 的矩阵并对每列元素求平均值得到最终的赋值向量为 $[1.4, 1.0, 1.3, 1.0, 1.0]$ ，再依据序关系分析法的权重计算原理求得 X 轴几何误差下属四级指标的主观权重向量 $U1 = [0.2452, 0.1752, 0.1752, 0.1348, 0.1348, 0.1348]$ 。

表 2X 轴几何误差下属四级指标重要性评分表

$U_{1111} \sim U_{1116}$ 重要性程度排序		$U_{1111} \sim U_{1116}$ 重要性程度赋值	
对 X 轴几何误差最重要的指标 $R1$			
对 X 轴几何误差第二重要的指标 $R2$		$R1$ 相对 $R2$ 的重要性	
对 X 轴几何误差第三重要的指标 $R3$		$R2$ 相对 $R3$ 的重要性	
对 X 轴几何误差第四重要的指标 $R4$		$R3$ 相对 $R4$ 的重要性	
对 X 轴几何误差第五重要的指标 $R5$		$R4$ 相对 $R5$ 的重要性	

对于机床综合性能下属四项一级指标, 3 位专家给出的排序结果一致, 均为 $U_1 \succ U_3 \succ U_2 \succ U_4$, 赋值向量分别为 $[1.5, 1.5, 1.4]$ 、 $[1.7, 1.6, 1.4]$ 、 $[1.6, 1.4, 1.4]$, 对合成矩阵的列求取平均值得到最终赋值向量 $[1.6, 1.5, 1.4]$, 由此求得一级指标的主观权重向量为 $U_{12} = [0.4275, 0.1781, 0.2672, 0.1272]$ 。

其它评分表的确定主观权重的过程类似, 不再赘述, 仅在表 3 中列出各级指标的主观权重向量计算结果:

表 3 中系统 $S_1^{(3,1,1)}$ 表示 1 号一级指标下属 1 号二级指标下属的 1 号三级指标, 即代表 “X 轴几何误差” 三级子系统; 同理, $S_1^{(2,1)}$ 表示 “几何误差” 二级子系统, 以此类推。

表 3 各级指标主观权重系数汇总表

系统	指标数	序关系分析法确定主观权重系数					
$S_1^{(3,1,1)}$	6	0.2452	0.1752	0.1752	0.1348	0.1348	0.1348
$S_2^{(3,1,1)}$	6	0.2452	0.1752	0.1752	0.1348	0.1348	0.1348
$S_3^{(3,1,1)}$	6	0.2452	0.1752	0.1752	0.1348	0.1348	0.1348
$S_4^{(3,1,1)}$	3	1/3	1/3	1/3			
$S_1^{(2,1)}$	4	0.2692	0.2692	0.2692	0.1924		
$S_2^{(2,1)}$	4	0.2174	0.2174	0.2174	0.3478		
$S_3^{(2,1)}$	3	0.4594	0.2703	0.2703			
$S_1^{(1)}$	3	0.4828	0.3017	0.2155			
$S_2^{(1)}$	4	0.3616	0.2128	0.2128	0.2128		
$S_3^{(1)}$	3	0.2428	0.4659	0.2913			
$S_4^{(1)}$	2	0.5833	0.4167				
S	4	0.4257	0.1781	0.2672	0.1272		

(四) 熵权法和均方差法确定客观权重

根据前述两种客观赋权法，可得到各级指标的客观权重向量，例如子系统 $S_1^{(3,1,1)}$ 的 6 项指标基于熵权法的客观权重向量为[0.1808 , 0.2055 , 0.1024 , 0.1224 , 0.1786 , 0.2102]，子系统 $S_1^{(1)}$ 的 3 项指标权重向量为[0.6737 , 0.0231 , 0.3032]。

(五) 基于皮尔森相关系数的综合集成赋权

根据表 3 得到的各级指标主观权重向量，结合通过客观数据计算得到的两种客观权重向量，利用基于向量皮尔森系数的集成赋权法求得最优权向量，结果如表 4 所示。将各评价指标分别乘以对应的综合权重(即进行指标权化处理)，得到权化矩阵 A。

表 4 各级指标综合权重一览表

系统	指标数	综合集成赋权确定权重系数（第一次赋权）					
$S_1^{(3,1,1)}$	6	0.1970	0.1923	0.1300	0.1308	0.1651	0.1849
$S_2^{(3,1,1)}$	6	0.2382	0.0869	0.2191	0.2741	0.0602	0.1216
$S_3^{(3,1,1)}$	6	0.2043	0.1320	0.2172	0.0770	0.2000	0.1695
$S_4^{(3,1,1)}$	3	0.2152	0.4266	0.3582			
$S_1^{(2,1)}$	4	0.2127	0.2058	0.0556	0.5259		
$S_2^{(2,1)}$	4	0.2843	0.2327	0.3074	0.1756		
$S_3^{(2,1)}$	3	0.2643	0.3986	0.3371			
$S_1^{(1)}$	3	0.5204	0.1367	0.3429			
$S_2^{(1)}$	4	0.4024	0.2121	0.1878	0.1977		
$S_3^{(1)}$	3	0.2140	0.1502	0.6358			
$S_4^{(1)}$	2	0.3971	0.6029				
S	4	0.1215	0.1902	0.2842	0.4041		

(六) 基于改进型拉开档次法确定指标权重系数

根据拉开档次法的相关原理，先给出权化指标矩阵对应的正定矩阵，再求得其最大特征值对应的特征向量即为指标最终的权重，结果如表 5 所示。

表 5 各级指标最终权重一览表

系统	指标数	改进型拉开档次法确定权重（第二次赋权）					
$S_1^{(3,1,1)}$	6	0.2036	0.1981	0.1224	0.1216	0.1615	0.1929
$S_2^{(3,1,1)}$	6	0.2516	0.0730	0.2294	0.2864	0.0500	0.1097
$S_3^{(3,1,1)}$	6	0.2090	0.1189	0.2323	0.0645	0.2102	0.1651
$S_4^{(3,1,1)}$	3	0.1983	0.4317	0.3700			
$S_1^{(2,1)}$	4	0.1325	0.1552	0.0388	0.6735		
$S_2^{(2,1)}$	4	0.2988	0.2297	0.3057	0.1658		
$S_3^{(2,1)}$	3	0.2425	0.4172	0.3402			
$S_1^{(1)}$	3	0.3233	0.1575	0.5191			
$S_2^{(1)}$	4	0.4363	0.2063	0.1724	0.1851		
$S_3^{(1)}$	3	0.1960	0.1279	0.6761			
$S_4^{(1)}$	2	0.3801	0.6199				
S	4	0.0256	0.1270	0.3169	0.5305		

(七) 综合评价价值计算

利用表 5 中的最终权重系数和权化数据,逐级向上计算各级指标的评价价值,最终求得数控机床一级指标评价价值以及综合性能评价价值,评价结果汇总见表 6。

表 6 四台数控机床综合评价结果汇总表

机床编号	精度	效率	可靠性	能耗	综合评价价值	排序
1	0.1220	0.3979	0.6768	0.6903	0.2189	3
2	0.1274	0.2883	0.6955	0.5247	0.1825	4
3	0.1168	0.3894	0.5932	0.7753	0.2294	2
4	0.0972	0.3674	0.4910	0.8339	0.2322	1

表 6 清楚地展示了机床的一级性能指标和综合性能的评价价值,充分反映了各台机床的性能状况。4 台机床综合性能优劣顺序为: 4 号>3 号>1 号>2 号。虽

然2号机床的精度最优,但是其综合性能状况却最差;4号机床的综合性能最优,但精度性能却最差。由此可见,虽然机床的整体性能较优,但不能排除其某一方面是否存在缺陷,可从一级性能指标入手提升机床的性能。例如,可对4号机床的精度状况进行综合检测并采取针对性补偿措施。

基于改进型拉开档次法的递阶综合评价能对多个机床综合性能优劣情况进行区分,也可以对不同机床各层次性能状况进行比较,达到全方位、多层次的比较分析。

应该说明的是,本发明的上述具体应用仅用于示例性阐述本发明的原理和流程,不构成对本发明的限制。因此,在不偏离本发明思想和范围的情况下所做的任何修改和等同替换,均应包含在本发明的保护范围内。

权利要求书

1. 一种基于改进型拉开档次法的数控机床综合性能评价方法，其特征在于，步骤如下：

(一) 数控机床关键性能指标体系的建立

数控机床关键性能指标归结为精度、效率、可靠性和能耗四方面，不同方面的因素对数控机床综合性能的影响有较大不同，将指标种类进行划分并分析从属关系，建立多层次的指标集，逐级构建评价体系；对于数控机床的关键性能指标，作如下分级：

第一级：数控机床的精度、效率、可靠性和能耗；

第二级：精度下属几何误差、热误差和复合运动误差三个二级指标，以及其它三个一级指标隶属的具体指标；

机床正常工作时在不同轴向、平面上的误差表现形式和大小都不同，因此补充分级，有：

第三级：精度下属二级指标体现在不同轴和平面上的误差，包括 X 轴几何误差、垂直度误差、X 进给轴热误差及 X-Y 平面圆度误差；

机床运动部件沿不同轴向移动时相对理想位置偏离的形式及大小都不同，故继续对几何误差下属三级指标分级，有：

第四级：每个轴的各项移动性误差和转角误差，三轴之间垂直度误差；

各级评价指标之间的隶属关系是确定的，按照多级综合评价的一般过程，最终确定如图 1 所示具有四级结构的数控机床关键性能指标体系；

(二) 获取评价指标原始数据

机床性能数据通过激光干涉仪、球杆仪等装置获取，对 m 台数控机床的 n 项性能指标进行评价，构建 $m \times n$ 阶评价指标原始数据矩阵；

(三) 评价指标预处理

首先将所有指标统一为极大型，选择能使评价值差异较大、稳定性最优、最大限度保留数据变异信息的线性比例法 m_j 作为无量纲化方法：

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{x_j'} \quad (1)$$

式中， x_j' 取为被评价对象样本中第 j 项评价指标的最小值；

(四) 序关系分析法确定主观权重

① 确定序关系

首先，在原始评价指标集中选出一个关于评价目标的重要性程度最高的指标记为 x_1 ，随后在剩下的 $m-1$ 个指标中继续筛选，以此原理类推，最终确定该评价指标集的一个序关系：

$$x_1 \succ x_2 \succ \cdots \succ x_m \quad (2)$$

② 相邻指标重要性程度判断

设对于排序相邻的评价指标 x_{k-1} 和 x_k 之间重要性程度比值的理性判断为

$$r_k = \frac{w_{k-1}}{w_k}, \quad k = m, m-1, \dots, 2 \quad (3)$$

式中， r_k 的值取为 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8，分别代表指标 x_{k-1} 比 x_k 同等重要，稍微重要，明显重要，强烈重要和极端重要；

③ 权重系数计算

根据重要性程度的判断即按下式求出指标的主观权重系数：

$$w_m = \left(1 + \sum_{k=2}^m \prod_{i=k}^m r_i \right)^{-1} \quad (4)$$

(五) 熵值法确定客观权重系数

① 对标准化数据进行归一化处理

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (5)$$

② 计算各项评价指标熵值

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (6)$$

式中, $k = \frac{1}{\ln n} > 0$, $e_j > 0$;

③确定归一化的权重系数

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^m g_j}, \quad j=1,2,\dots,m \quad (7)$$

式中, 各项评价指标的差异性系数 $g_j=1-e_j$;

(六) 均方差法确定客观权重系数

① 计算各项评价指标的均值

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}, \quad j=1,2,\dots,m \quad (8)$$

② 计算各项评价指标均方差

$$s_j^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2, \quad j=1,2,\dots,m \quad (9)$$

③ 确定归一化的权重系数

$$w_j = \frac{s_j}{\sum_{k=1}^m s_k}, \quad j=1,2,\dots,m \quad (10)$$

(七) 基于皮尔森相关系数的综合集成赋权

此方法的内涵是对具体的几种主、客观赋权方法进行相关性分析, 得到单个权重向量与其他权重向量的量化相关程度, 并以此来衡量各个赋权方法的相

对重要性，突出稳定可靠的权重向量的作用；

对于任意两个权重向量 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, 对相关系数 $P(X, Y)$ 作如下定义：

$$P(X, Y) = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x}_i)(y_i - \bar{y}_i)}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x}_i)^2} \sqrt{\sum_i (y_i - \bar{y}_i)^2}} \quad (11)$$

式中， $\bar{x}_i$ 、 $\bar{y}_i$ 分别为 X 、 Y 的平均值， $P(X, Y) \in [-1, 1]$ ；当 $P(X, Y) = \pm 1$ ，表示两变量具有完全的线性相关性；当 $P(X, Y) = 0$ ，则表明两变量线性无关；

为了便于后续的计算，调整 $P(X, Y)$ 的取值区间，定义下式为两变量之间的相关度：

$$\gamma(X, Y) = \frac{1}{2} [P(X, Y) + 1] \quad (12)$$

进而给出某一权向量 W_k 与其余权向量的总相关度为

$$\gamma_k = \sum_{i=1, i \neq k}^l \gamma(W_i, W_k), \quad k = 1, 2, \dots, l \quad (13)$$

以总相关度衡量权重向量的重要性程度，确定综合集成赋权系数

$$\alpha_k = \frac{\sum_{i=1, i \neq k}^l \gamma(W_i, W_k)}{\sum_{k=1}^l \sum_{i=1, i \neq k}^l \gamma(W_i, W_k)} \quad (14)$$

(八) 基于改进型拉开档次法确定最终权重系数

首先对各评价指标进行区分重要性程度的权化处理

$$x_{ij}^{*(2,t,q)} = w_j^{(2,t,q)} x_{ij}^{(2,t,q)} \quad (15)$$

式中， $w_j^{(2,t,q)}$ 为表征指标重要性程度的综合集成权重系数； $x_{ij}^{(2,t,q)}$ 的含义为隶属于第 i 个大系统的第二层次子系统 $s_q^{(2,t)}$ 下属第 j 项指标的标准观测值，其中 $i =$

$1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m_{tq}; t = 1, 2, \dots, n_1; q = 1, 2, \dots, m_t$; 进而得到权化指标矩阵

$$\mathbf{A}^{(2,t,q)} = \begin{bmatrix} x_{11}^{*(2,t,q)} & \dots & x_{1m_{tq}}^{*(2,t,q)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1}^{*(2,t,q)} & \dots & x_{nm_{tq}}^{*(2,t,q)} \end{bmatrix} \quad (16)$$

相应的正定矩阵为

$$\mathbf{H}^{(2,t,q)} = \left(\mathbf{A}^{(2,t,q)} \right)^T \mathbf{A}^{(2,t,q)} \quad (17)$$

采用线性加权综合法构造子系统的综合评价函数

$$y_i^{(2,t,q)} = \sum_{j=1}^{m_{tq}} b_j^{(2,t,q)} x_{ij}^{*(2,t,q)}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (18)$$

确定权重系数向量 $\mathbf{b}^{(2,t,q)}$ 的基本思想是最大程度反映不同评价对象相对于评价目标的差异性, 转化为数学语言, 即使线性综合评价函数 $y_i^{(2,t,q)}$ 对 n 个评价对象的综合评价值有最大化的离散程度;

若取 $\mathbf{b}^{(2,t,q)}$ 为正定矩阵 $\mathbf{H}^{(2,t,q)}$ 所有基本特征值中最大者所对应的特征列向量, 则评价值具有最大离散程度, 将特征向量归一化后得到指标权重系数向量, 由式(18)即求得所有评价对象子系统 $s_q^{(2,t)}$ 的综合评价值;

(九) 多级指标递阶评价

对于 Y 轴几何误差、Z 轴几何误差等三级指标, 热误差等二级指标, 效率、可靠性等一级指标下属的具体性能指标, 重复步骤(一)~(八);

对于几何误差下属 4 个三级指标 $U_{111} \sim U_{114}$, 重复步骤(一)~(八), 得到不同机床几何误差综合评价值; 需要指出的是, 在根据三级指标评价值计算二级指标评价值时数据的数量级已具有一致性, 故不再进行标准化处理;

对于精度下属 3 个二级指标 $U_{11} \sim U_{13}$, 重复步骤(一)~(八), 得到不同机床

的精度综合评价价值。

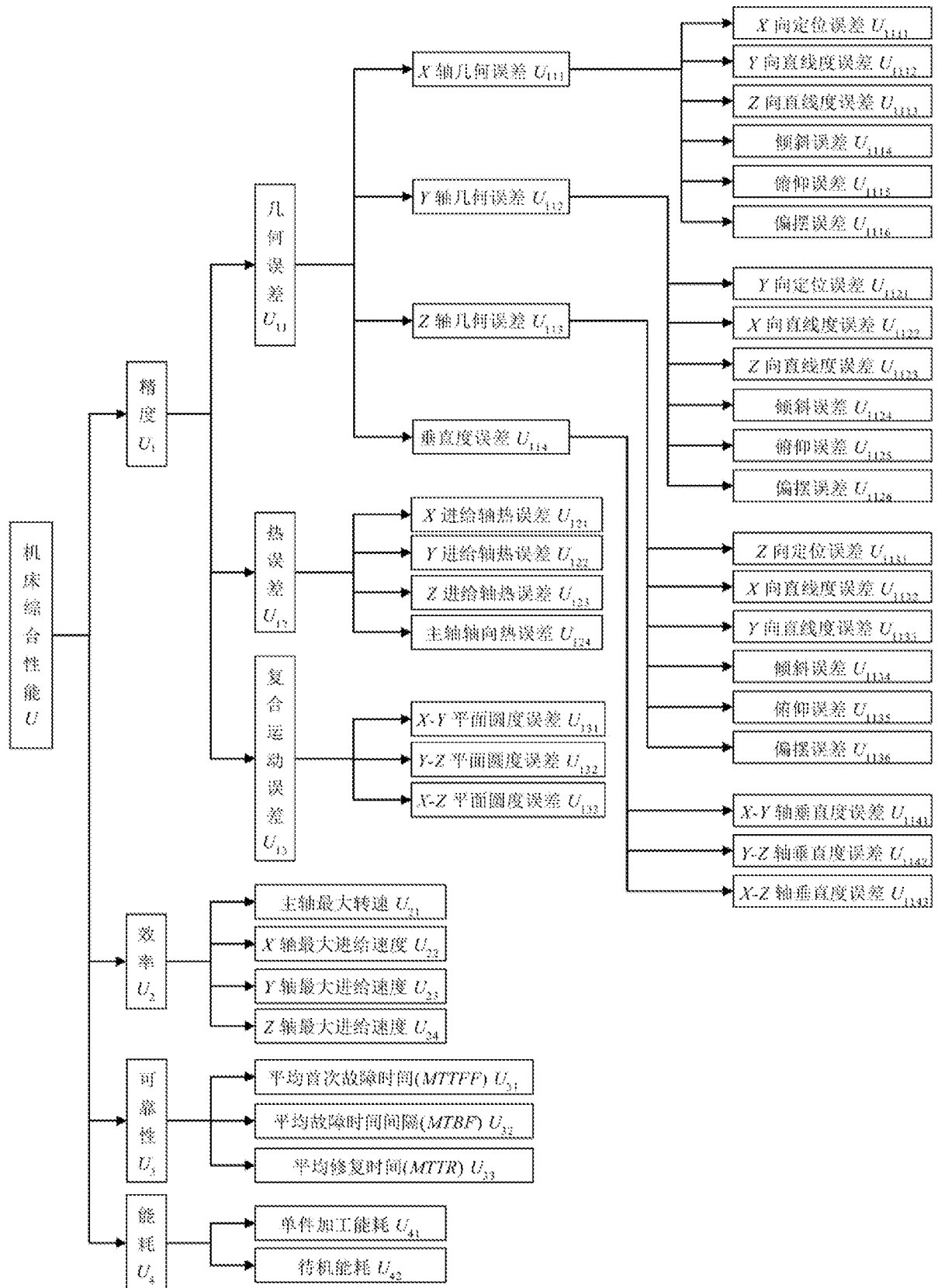


图 1

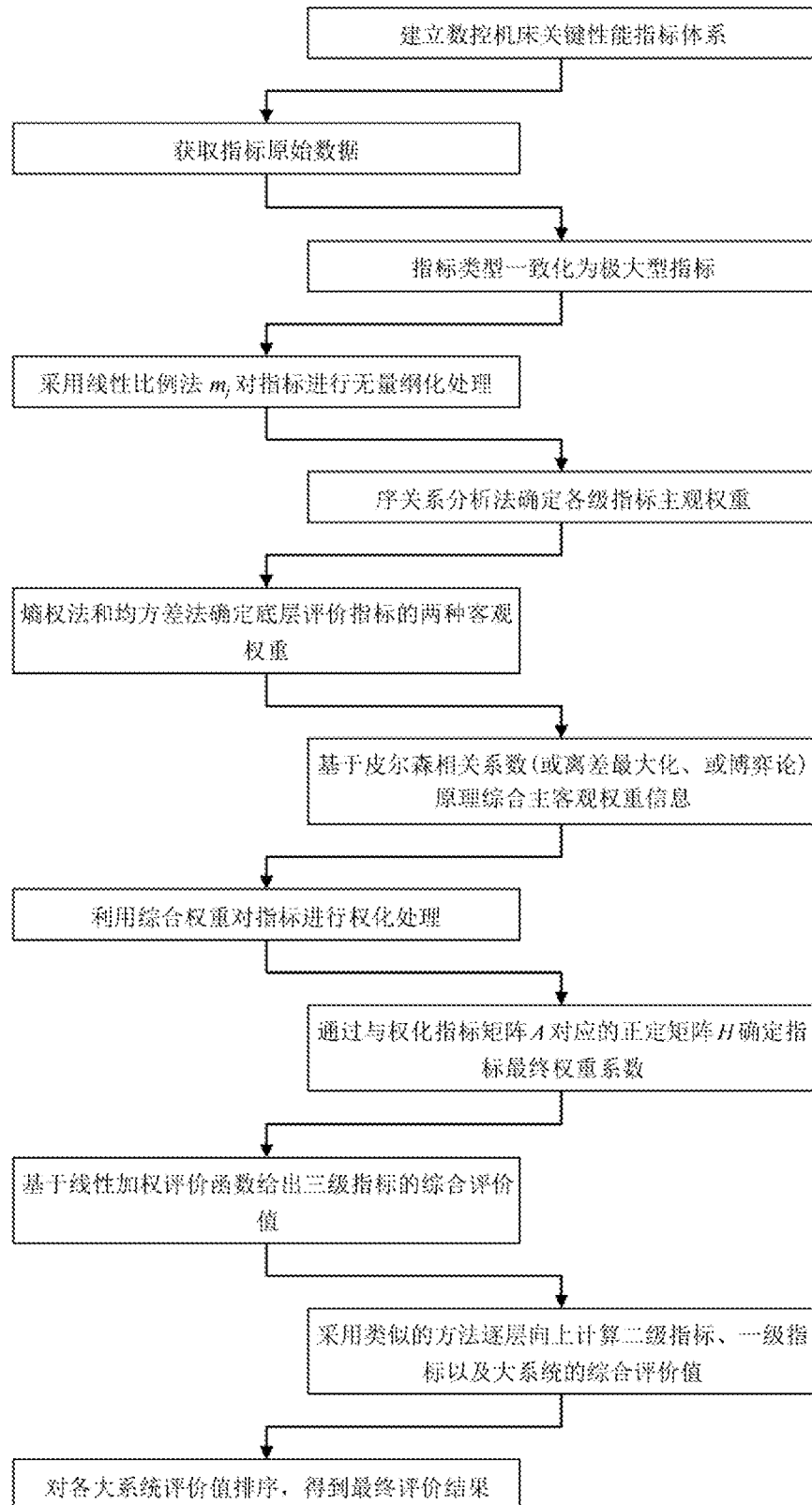


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/102608

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 17/50(2006.01)i; G06Q 10/06(2012.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06F17/-; G06Q10/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 数控机床, 综合, 性能, 评价, 指标, 体系, 精度, 效率, 可靠性, 能耗, 权重, 熵值, 均方差, 皮尔森, 集成, 拉开, 档次, 多级, 递阶, CNC, numerically, controlled, machine, compositive, integrated, performance, appraise, evaluate, precision, efficiency, reliability, energy, consumption, weight, entropy, deviation

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 107479494 A (NORTHEASTERN UNIVERSITY) 15 December 2017 (2017-12-15) entire document	1
A	CN 104992011 A (NORTHEASTERN UNIVERSITY) 21 October 2015 (2015-10-21) entire document	1
A	CN 107942940 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 20 April 2018 (2018-04-20) entire document	1
A	CN 108021753 A (JILIN UNIVERSITY) 11 May 2018 (2018-05-11) entire document	1
A	US 2007067059 A1 (PROTOTYPE PRODUCTIONS, INC.) 22 March 2007 (2007-03-22) entire document	1
A	CN 107316140 A (CHONGQING UNIVERSITY) 03 November 2017 (2017-11-03) entire document	1
A	CN 104898568 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 09 September 2015 (2015-09-09) entire document	1



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

09 April 2019

Date of mailing of the international search report

03 June 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/102608

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 107695775 A (WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 16 February 2018 (2018-02-16) entire document	1
A	CN 105278460 A (JILIN UNIVERSITY) 27 January 2016 (2016-01-27) entire document	1
A	封志明 等 (FENG, Zhiming et al.). "基于层次分析法的数控机床精度模糊评价 (Fuzzy Comprehensive Evaluation of the Accuracy of CNC Machine Tools Based on AHP)" <i>High Technology Letters</i> , Vol. 24, No. (2), 28 February 2014 (2014-02-28), ISSN: 1002--047, pp. 183-188	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2018/102608

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	107479494	A	15 December 2017	None			
CN	104992011	A	21 October 2015	CN	104992011	B	28 August 2018
CN	107942940	A	20 April 2018	CN	106323633	A	11 January 2017
CN	108021753	A	11 May 2018	None			
US	2007067059	A1	22 March 2007	US	8365642	B2	05 February 2013
				US	2011264257	A1	27 October 2011
				US	7930957	B2	26 April 2011
				US	8136432	B2	20 March 2012
				JP	2008545546	A	18 December 2008
				WO	2006135859	A2	21 December 2006
				US	2012143368	A1	07 June 2012
CN	107316140	A	03 November 2017	None			
CN	104898568	A	09 September 2015	CN	104898568	B	19 January 2018
CN	107695775	A	16 February 2018	None			
CN	105278460	A	27 January 2016	CN	105278460	B	09 February 2018

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/102608

A. 主题的分类 G06F 17/50(2006.01)i; G06Q 10/06(2012.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																										
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G06F17/-; G06Q10/- 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNPAT, CNKI, WPI, EPDOC: 数控机床, 综合, 性能, 评价, 指标, 体系, 精度, 效率, 可靠性, 能耗, 权重, 熵值, 均方差, 皮尔森, 集成, 拉开, 档次, 多级, 递阶, CNC, numerically, controlled, machine, compositive, integrated, performance, appraise, evaluate, precision, efficiency, reliability, energy, consumption, weight, entropy, deviation																										
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>CN 107479494 A (东北大学) 2017年 12月 15日 (2017 - 12 - 15) 全文</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104992011 A (东北大学) 2015年 10月 21日 (2015 - 10 - 21) 全文</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107942940 A (华中科技大学) 2018年 4月 20日 (2018 - 04 - 20) 全文</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 108021753 A (吉林大学) 2018年 5月 11日 (2018 - 05 - 11) 全文</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2007067059 A1 (PROTOTYPE PRODUCTIONS, INC.) 2007年 3月 22日 (2007 - 03 - 22) 全文</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107316140 A (重庆大学) 2017年 11月 3日 (2017 - 11 - 03) 全文</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104898568 A (西安交通大学) 2015年 9月 9日 (2015 - 09 - 09) 全文</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	A	CN 107479494 A (东北大学) 2017年 12月 15日 (2017 - 12 - 15) 全文	1	A	CN 104992011 A (东北大学) 2015年 10月 21日 (2015 - 10 - 21) 全文	1	A	CN 107942940 A (华中科技大学) 2018年 4月 20日 (2018 - 04 - 20) 全文	1	A	CN 108021753 A (吉林大学) 2018年 5月 11日 (2018 - 05 - 11) 全文	1	A	US 2007067059 A1 (PROTOTYPE PRODUCTIONS, INC.) 2007年 3月 22日 (2007 - 03 - 22) 全文	1	A	CN 107316140 A (重庆大学) 2017年 11月 3日 (2017 - 11 - 03) 全文	1	A	CN 104898568 A (西安交通大学) 2015年 9月 9日 (2015 - 09 - 09) 全文	1
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
A	CN 107479494 A (东北大学) 2017年 12月 15日 (2017 - 12 - 15) 全文	1																								
A	CN 104992011 A (东北大学) 2015年 10月 21日 (2015 - 10 - 21) 全文	1																								
A	CN 107942940 A (华中科技大学) 2018年 4月 20日 (2018 - 04 - 20) 全文	1																								
A	CN 108021753 A (吉林大学) 2018年 5月 11日 (2018 - 05 - 11) 全文	1																								
A	US 2007067059 A1 (PROTOTYPE PRODUCTIONS, INC.) 2007年 3月 22日 (2007 - 03 - 22) 全文	1																								
A	CN 107316140 A (重庆大学) 2017年 11月 3日 (2017 - 11 - 03) 全文	1																								
A	CN 104898568 A (西安交通大学) 2015年 9月 9日 (2015 - 09 - 09) 全文	1																								
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																										
<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> * 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 </td> <td style="vertical-align: top;"> “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件 </td> </tr> </table>			* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																						
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																									
国际检索实际完成的日期 2019年 4月 9日		国际检索报告邮寄日期 2019年 6月 3日																								
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 卞喜双 电话号码 86-(10)-53962538																								

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 107695775 A (武汉理工大学) 2018年 2月 16日 (2018 - 02 - 16) 全文	1
A	CN 105278460 A (吉林大学) 2016年 1月 27日 (2016 - 01 - 27) 全文	1
A	封志明 等. “基于层次分析法的数控机床精度模糊评价” 高技术通讯, 第24卷, 第2期, 2014年 2月 28日 (2014 - 02 - 28), ISSN: 1002—047, 第183—188页	1

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/102608

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	107479494	A	2017年 12月 15日	无	
CN	104992011	A	2015年 10月 21日	CN	104992011 B 2018年 8月 28日
CN	107942940	A	2018年 4月 20日	CN	106323633 A 2017年 1月 11日
CN	108021753	A	2018年 5月 11日	无	
US	2007067059	A1	2007年 3月 22日	US	8365642 B2 2013年 2月 5日
				US	2011264257 A1 2011年 10月 27日
				US	7930957 B2 2011年 4月 26日
				US	8136432 B2 2012年 3月 20日
				JP	2008545546 A 2008年 12月 18日
				WO	2006135859 A2 2006年 12月 21日
				US	2012143368 A1 2012年 6月 7日
CN	107316140	A	2017年 11月 3日	无	
CN	104898568	A	2015年 9月 9日	CN	104898568 B 2018年 1月 19日
CN	107695775	A	2018年 2月 16日	无	
CN	105278460	A	2016年 1月 27日	CN	105278460 B 2018年 2月 9日