

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.08.007

铲式播种机数字化设计实例检索策略研究*

李成华¹ 杨宇² 张晓冬² 张国梁³

(1. 沈阳理工大学机械工程学院, 沈阳 110168; 2. 沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110161;

3. 河北农业大学林学院, 保定 071000)

【摘要】 在基于实例推理的机械系统数字化设计过程中,实例的检索策略和检索方法对于检索的有效性和可靠性具有决定性影响。结合面向对象的实例表达方法,研究实例检索过程中机械零部件特征属性相似度的确定方法,提出将模糊数学、灰色关联分析应用到特征属性相似度的计算中。引入层次分析法和基于相似度离差信息方法确定特征属性的组合权重。以铲式播种机设计为例,验证了所提出的实例检索算法具有良好的实例分辨能力和检索成功率。

关键词: 铲式播种机 数字化设计 设计实例 检索方法

中图分类号: TP391; S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)08-0031-04

Retrieval Strategy of Spade Punch Planter for Digital Design Case

Li Chenghua¹ Yang Yu² Zhang Xiaodong² Zhang Guoliang³

(1. School of Mechanical Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110168, China

2. College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China

3. College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China)

Abstract

In the procedure of digital design of machinery system based on case-based reasoning (CBR), retrieval strategy and method of case had decisive influence on validity and reliability of retrieve. Combined with object-oriented case representation approach, determination method for resemblance level of machinery parts characteristics during case retrieval procedure was analyzed, fuzzy mathematics and grey relational analysis methods were introduced into calculation of resemblance level of characteristics properties. Combination weight for characteristic properties of the machinery parts was determined through hierarchy analysis process and deviation information method based on similarity values. The case retrieval calculation method had high discernment and verified successfully through design procedure of spade punch planter.

Key words Spade punch planter, Digital design, Design case, Retrieval method

引言

现代机械多采用类比设计或经验设计,可在参考已有相似设计实例的基础上进行适当修改和调整,生成新的设计方案^[1]。设计知识重用可减少重复劳动,缩短研制周期,提高设计效率和设计质量。基于实例推理(case-based reasoning,简称 CBR)是

人工智能领域新兴的一种问题求解方法,它根据目标实例要求得到历史记忆中结构化存储的源实例,并由源实例进行相应的判断与推理来指导目标实例求解^[2]。本文采用 CBR 作为铲式播种机数字化设计的推理方法,结合播种机设计实例的表达方式,引入模糊数学和灰色关联度来衡量播种机零部件特征属性的相似程度,提出一种基于相似度离差

收稿日期:2009-11-20 修回日期:2010-03-30

* 国家自然科学基金资助项目(50575148)

作者简介:李成华,教授,博士生导师,主要从事机械现代设计理论与方法研究, E-mail: chenghuali2000@yahoo.com

信息的客观赋权方法和多层次综合检索匹配算法。通过对播种机实例库的检索,获得符合设计要求的最佳匹配实例,达到提高设计效率和设计质量的目的。

1 实例表达

铲式播种机设计方案直接影响播种机的总体配置及性能,播种机数字化设计系统采用基于实例推理的机制,其关键技术是实例表达方式及实例检索策略。实例表达是实例检索、修改和学习的基础,其结构和内容直接影响到系统的性能^[3]。实例表达主要包括确定在实例中保存的内容,找出描述实例的合理结构,确定高效的实例组织方式。

采用面向对象技术的方法进行实例表达,实例概念与实例的关系是类和对象的关系。实例概念定义实例的共性和处理方法,用实例概念表示抽象的实例类,具体的实例是实例类的对象。基于面向对象的实例表达采用框架和规则混合表达方式来描述实例。框架描述对象,框架的槽描述该对象的特征,框架有属性槽、规则槽和方法槽。属性槽描述实例的特征和参数,规则槽描述实例修改的规则知识,方法槽描述实例操作的方法和过程。铲式播种机实例特征有:垂直倾角 γ 、水平倾角 β 、工作速度

v 、播种深度 h 、种距 S_z 、打穴铲个数 i_d 、排种频率 f 等^[4]。铲式播种机结构如图1所示。

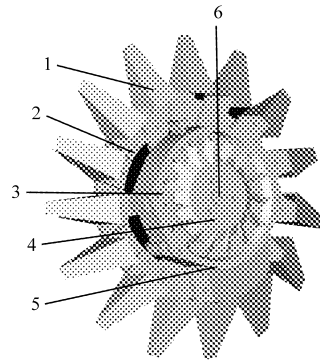


图1 铲式播种机结构示意图

Fig. 1 Configuration of spade punch planter

1. 打穴铲 2. 支撑轮 3. 隔板 4. 分种勺盘 5. 排种轮 6. 轴

2 实例检索策略算法

以权值最近邻法为基础,采用多层次综合检索匹配算法对实例库进行检索。多层次综合检索匹配算法划分为特征编码级、特征属性级和组合特征属性级,在单独特征级别上进行相似性计算,在多个特征组合级别上进行综合评判^[5],其流程如图2所示。特征编码级判断对几何特征进行比较;特征属性级比较同类型特征属性的近似程度,并将其转换为两

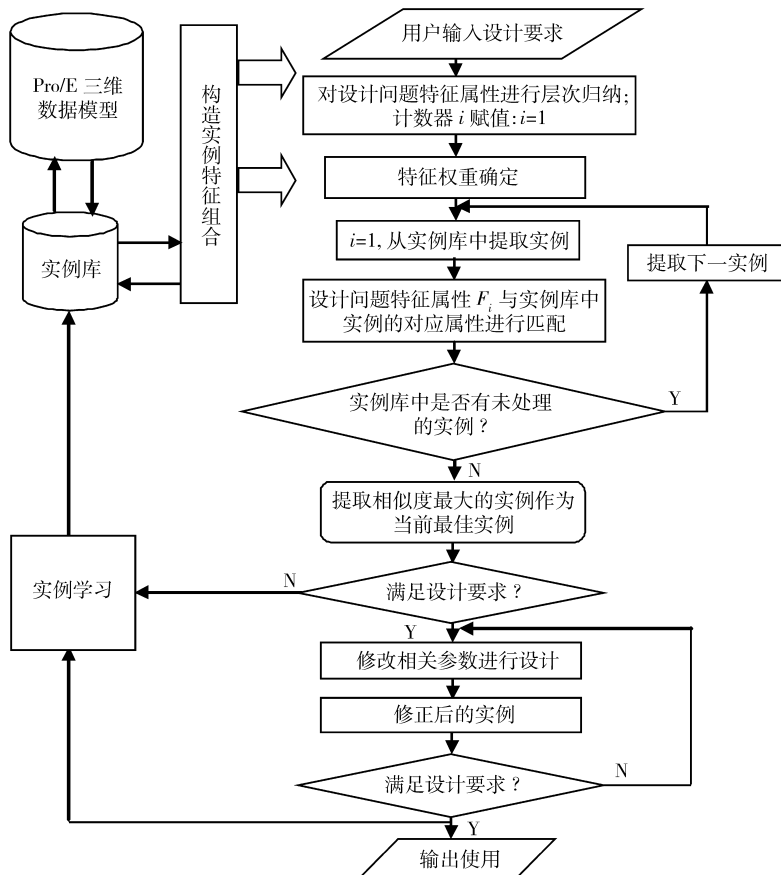


图2 多层次综合匹配算法流程图

Fig. 2 Flow chart of multi-level synthesis retrieval match algorithm

个向量间近似程度的比较;组合特征属性级综合考虑实例的多个特征属性,采用模糊数学的方法,通过相对汉明距离度量相似程度,并利用灰色关联度分析实现相似匹配。

2.1 基于模糊数学的特征相似度量

播种机设计目标实例 case 0 的特征为 $F = (p_1, p_2, \dots, p_n)$, 实例库中备选实例 case*i* 对应的相同类型特征 $F' = (p'_1, p'_2, \dots, p'_n)$, 求两特征的相似性 $\text{sim}(F, F')$, 建立模糊相似关系矩阵

$$R(F, F') = \begin{matrix} & p'_1 & p'_2 & \cdots & p'_n \\ \begin{matrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & r_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & r_n \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

采用相对汉明距离度量两向量之间的相似性, 相似距离公式为^[6]

$$\begin{cases} \delta(F, F') = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |1 - r_i| \\ r_i = e^{-\frac{(p'_i - p_i)^2}{2\sigma_i^2}} \\ \sigma_i = \frac{1}{6} [\text{Max}(p'_i) - \text{Min}(p'_i)] \end{cases} \quad (2)$$

式中, $\text{Max}(p'_i)$ 和 $\text{Min}(p'_i)$ 分别表示与目标实例特征 $F = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ 结构相同的所有备选实例特征的第 i 个参数的上限和下限。

2.2 基于灰色理论的综合特征相似匹配

灰色关联分析根据系统因子序列的微观或宏观几何相似判断因子的关联程度^[7]。采用灰色关联度描述铲式播种机目标实例与备选实例的综合相似性, 即对实例的各个特征进行综合相似匹配。匹配过程如下:

(1) 确定比较数据列 $D_i = (d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{im})$, 参考数列 $D_0 = (0, 0, \dots, 0)$ 。

(2) 计算 $D_i(j)$ 和 $D_0(j)$ 的关联系数 $\xi_i(j)$, 其中 $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m$ 。

记 $\delta_i(j) = |D_0(j) - D_i(j)|$ (3)

则 $\xi_i(j) = \frac{\text{Min}_i \text{Min}_j \delta_i(j) + \rho \text{Max}_i \text{Max}_j \delta_i(j)}{\delta_i(j) + \rho \text{Max}_i \text{Max}_j \delta_i(j)}$ (4)

其中 $\text{Min}_i \text{Min}_j \delta_i(j)$ 和 $\text{Max}_i \text{Max}_j \delta_i(j)$ 分别称为两级最小差和两级最大差, $\rho \in [0, 1]$ 为分辨系数, 通常取 0.5。

(3) 根据组合权重 w_j , 计算灰色关联度

$$r_i = \sum_{j=1}^m w_j \xi_i(j) \quad (5)$$

灰色关联度 $r_i \in [0, 1]$, 其大小反映特征综合匹配的相似程度。

2.3 组合权重计算

在实例推理中, 通过给各属性赋予权重, 衡量每个特征属性的相对重要程度^[8]。以层次分析法和基于相似度离差信息的客观赋权方法相结合的方法来确定权重。反映决策者对属性的偏好或属性重要程度的权重定义为 $w^{(1)}$, 反映属性所含信息量对决策结果的贡献权重定义为 $w^{(2)}$ 。

(1) 基于层次分析法确定 $w^{(1)}$

层次分析法 (analytic hierarchy process, 简称 AHP) 把复杂的问题分解为各个组成因素, 将这些因素按支配关系分组形成有序的递阶层次结构: 最上层的目标层、中间的准则层和最底层的方案层^[9]。通过两两比较的方式确定层次中诸因素相对重要性的顺序, 构成属性权重向量 $w^{(1)} = (w_1^{(1)}, w_2^{(1)}, \dots, w_m^{(1)})$ 。

(2) 基于相似度离差信息确定 $w^{(2)}$

设目标实例属性 c_j 与备选实例属性集 C 的第 j 个属性相似度为 s_{ij} , 求解属性贡献权重 $w^{(2)}$ 的唯一最优解为

$$w_j^{(2)} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=i+1}^n (s_{ij} - s_{kj})^2}{\sum_{j=1}^m \left[\sum_{i=1}^n \sum_{k=i+1}^n (s_{ij} - s_{kj})^2 \right]^2} \quad (6)$$

其中

$$s_{ij} = 1 - |a - b|$$

式中 a ——目标实例属性值

b ——备选实例属性值

(3) 综合考虑属性重要程度和属性贡献合成组合权重向量元素

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

3 应用举例

3.1 设计问题描述

在给定铲式播种机设计参数: 垂直倾角、水平倾角、工作速度、播种深度、播种株距条件下, 确定满足性能要求的零部件结构参数。在设计过程中, 只有少量结构参数可通过分析计算获得, 大多数参数需要设计者依经验来确定。因此, 采用基于实例推理的设计方法构建铲式播种机设计规则。

3.2 设计过程

铲式播种机设计实例库部分内容以及所要设计的目标实例参数条件如表 1 所示。计算目标实例与第 j 个备选实例的特征级相似距离 $d_{jk} = \delta(F, F'_j)$, 结果如表 2 所示。根据特征级相似距离构建备选方案的组合特征级比较向量 D_j , 计算特征关联度系数 $\xi_i(k)$ 如表 3 所示。

表1 设计实例库
Tab.1 Design case base

特征属性	参数名称	σ_i	备选实例						目标实例
			1	2	3	4	5	6	
农业生产要求 F_1	行距/mm	33.3	650	550	750	600	700	750	700
	种距/mm	13.3	120	140	140	160	200	180	136
播种机铲轮倾角 F_2	垂直/(°)	1.7	15	21	23	25	18	20	25
	水平/(°)	1.2	3	4	10	6	7	8	10
行进速度 F_3	行进速度/mm·s ⁻¹	100	1 000	1 100	1 600	1 200	1 400	1 200	1 500
	播种深度/mm	1.7	40	45	60	60	50	55	70
	穴铲数/个	1.5	5	10	14	11	5	12	15
工作状态 F_4	穴铲高度/mm	7.8	72	78	119	101	88	96	118
	穴铲厚度/mm	5.8	21	33	56	52	31	38	61
	穴铲宽度/mm	16.2	41	96	89	108	138	134	88
性能指标 F_5	播种频率/s ⁻¹	0.79	8.33	7.86	11.58	7.50	7.00	6.67	11.03
	分种匀盘直径/mm	63.7	191	405	416	467	364	573	325
其他参数 F_6	铲轮直径/mm	81.7	200	450	630	570	510	690	650
	分种匀数目/个	1.5	5	10	14	11	8	12	15

表2 特征级相似距离

Tab.2 Similar distances of characteristic level

备选实例	$F_1 \rightarrow d_{j1}$	$F_2 \rightarrow d_{j2}$	$F_3 \rightarrow d_{j3}$	$F_4 \rightarrow d_{j4}$	$F_5 \rightarrow d_{j5}$	$F_6 \rightarrow d_{j6}$
1	0.59	0.99	0.99	0.99	0.98	0.96
2	0.52	0.96	0.99	0.82	0.99	0.83
3	0.36	0.25	0.29	0.28	0.22	0.21
4	0.89	0.48	0.98	0.81	0.98	0.75
5	0.49	0.99	0.39	0.99	0.99	0.64
6	0.83	0.97	0.98	0.96	0.99	0.65

表3 特征关联系数 $\xi_i(k)$ Tab.3 Characteristic conjunction coefficient $\xi_i(k)$

备选实例	$F_1 \rightarrow \xi_j(1)$	$F_2 \rightarrow \xi_j(2)$	$F_3 \rightarrow \xi_j(3)$	$F_4 \rightarrow \xi_j(4)$	$F_5 \rightarrow \xi_j(5)$	$F_6 \rightarrow \xi_j(6)$
1	0.649 8	0.474 7	0.474 7	0.474 7	0.478 0	0.484 5
2	0.694 6	0.484 5	0.474 7	0.536 1	0.474 7	0.532 1
3	0.824 6	0.946 3	0.898 1	0.909 7	0.986 0	1.000 0
4	0.509 0	0.723 1	0.478 0	0.548 6	0.478 0	0.566 3
5	0.715 7	0.474 7	0.796 6	0.474 7	0.474 7	0.621 1
6	0.532 1	0.481 2	0.478 0	0.484 5	0.474 7	0.615 7

由层次分析法确定 $w^{(1)} = (0.208, 0.194, 0.081, 0.213, 0.167, 0.136)$, 基于相似度离差信息确定 $w^{(2)} = (0.171, 0.424, 0.450, 0.296, 0.393, 0.265)$, 组合权重 $w = (0.111, 0.258, 0.114, 0.198, 0.206, 0.113)$ 。计算得各备选实例灰色关联度 $r = (0.496\ 0, 0.520\ 3, 0.934\ 2, 0.566\ 9, 0.554\ 9, 0.501\ 0)$ 。由此可知, 备选实例3与目标实例相似度最高, 根据设计要求调整备选实例3中的参数, 完成播种机的设计。

4 结论

(1) 以模糊数学和灰色关联分析为基础的实例检索模型可有效解决由混合属性构成的实例检索问题, 保证实例对不同设计问题的检索成功率。

(2) 采用层次分析法和基于相似度离差信息方法确定权重 $w^{(1)}$ 和 $w^{(2)}$, 通过计算形成组合权重, 综合反映属性的特点和决策者意向, 有利于实例检索的快捷性和可靠性。

参 考 文 献

- 李彩凤, 刘俊峰, 冯晓静, 等. 现代机械设计方法与农机设计[J]. 农机化研究, 2006, 28(5): 186~188.
Li Caifeng, Liu Junfeng, Feng Xiaojing, et al. Modern machine design technique and agricultural machinery design[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006, 28(5): 186~188. (in Chinese)
- Liu G, Yu W D. Smart case-based indexing in worsted roving process; combination of rough set and case-based reasoning [J]. Applied Mathematics and Computation, 2009, 214(1): 280~286.
- 柯旭贵. 面向冲裁模的 CBR 系统[J]. 农业机械学报, 2004, 35(5): 194~200.
Ke Xugui. CBR system faced to punching die[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(5): 194~200. (in Chinese)

- model[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2007, 56(2): 161 ~ 173.
- 14 傅泽田, 王俊, 祁力钧, 等. 果园风送式喷雾机气流速度场模拟及试验验证[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 69 ~ 74.
Fu Zetian, Wang Jun, Qi Lijun, et al. CFD simulation and experimental verification of air-velocity distribution of air-assisted orchard sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(1): 69 ~ 74. (in Chinese)
- 15 刘财兴, 林惠强, 洪添胜, 等. 果树仿形喷雾的虚拟研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 133 ~ 138.
Liu Caixing, Lin Huiqiang, Hong Tiansheng, et al. Simulation of profile modeling spray of fruit trees[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(7): 133 ~ 138. (in Chinese)
- 16 祁力钧, 赵亚青, 王俊, 等. 基于 CFD 的果园风送式喷雾机雾滴分布特性分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(2): 62 ~ 67.
Qi Lijun, Zhao Yaqing, Wang Jun, et al. CFD simulation and experimental verification of droplet dispersion of air-assisted orchard sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(2): 62 ~ 67. (in Chinese)
- 17 陈发元, 汪小岳, 傅锡敏, 等. 圆盘风扇风送喷雾气流速度场的 CFD 模拟及试验验证[J]. 江西农业学报, 2009, 21(11): 87 ~ 89.
Chen Fayuan, Wang Xiaochan, Fu Ximin, et al. CFD simulation and experimental verification of air velocity distribution of air-assisted spraying of disk fan[J]. Acta Agricultural Jiangxi, 2009, 21(11): 87 ~ 89. (in Chinese)
- 18 王福军. 计算流体动力学分析—CFD 软件原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
-

(上接第 34 页)

- 4 杨宇, 李成华. 铲式精密播种机三维参数化设计[J]. 农机化研究, 2009, 31(5): 103 ~ 105.
Yang Yu, Li Chenghua. 3D parametric design of precision spade punch planter[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(5): 103 ~ 105. (in Chinese)
- 5 年志刚. 甘蔗收获机械智能设计系统知识库、实例库系统关键技术研究[D]. 南宁: 广西大学, 2006.
Nian Zhigang. Research on key technologies for knowledge base, case base of sugarcane harvester intelligent design system [D]. Nanning: Guangxi University, 2006. (in Chinese)
- 6 梁保松, 曹殿立. 模糊数学及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- 7 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
- 8 Li Y F, Xie M, Goh T N. A study of mutual information based feature selection for case based reasoning in software cost estimation[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(3): 5 921 ~ 5 931.
- 9 Liu F H, Hai H L. The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier[J]. International Journal of Production Economics, 2005, 97(3): 308 ~ 317.
- 10 Ribaux O, Margort P. Case based reasoning in criminal intelligence using forensic case data[J]. Science & Justice, 2003, 43(3): 135 ~ 143.
- 11 杨宇, 李成华, 张国梁. 基于实例推理的铲式玉米精密播种机设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 51 ~ 55.
Yang Yu, Li Chenghua, Zhang Guoliang. Design method of precision spade punch planter of maize based on CBR[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 51 ~ 55. (in Chinese)