

产品形态相似度评价方法研究

韩素斌, 李奋强, 魏驰
(兰州理工大学, 兰州 730050)

摘要: **目的** 针对目前产品形态相似度判定方法中评判者个人主观意见占主导地位这一弊端, 构建一套客观的产品形态相似度评价模型。**方法** 将产品各形态要素的形状、大小、位置、角度等作为相似度评判依据, 结合产品各形态要素在整体形态中的权重, 综合计算用向量空间模型表示的对比产品形态的整体相似度。**结论** 以微波炉产品为例, 运用该相似度模型计算其相似度值, 并结合专家评价法, 验证该模型的科学性与可靠性。

关键词: 产品形态; 图形相似; 向量空间; 相似度评价模型

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)24-0250-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.24.045

Evaluation Method of Similarity of Product Morphology

HAN Su-bin, LI Fen-qiang, WEI Chi
(Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

ABSTRACT: The paper aims to establish an objective product shape similarity evaluation model to overcome the shortcoming that the judges' subjective opinion is dominant in the current product shape similarity evaluation. Based on shape, size, position and angle of morphological elements of product form, the overall similarity degree of product presented by vector space model was calculated in combination with the weight of elements of product form. With microwave oven as an example, the similarity rate is calculated with the similarity evaluation model. The scientificity and reliability of the model are verified in combination with the expert evaluation method.

KEY WORDS: product shape; graphic similarity; vector space; similarity evaluation model

在品牌竞争日益激烈的产品市场, 形态是表达产品感性因素最直观的方式, 越来越受到企业与消费者的重视。企业为了塑造自己良好的产品形象, 迫切需要一套可行的产品相似度计算方法, 用于对品牌内产品相似度的把控并避免对其他产品造成抄袭与被抄袭。目前已有一些相关的文献, 但大多是从法律知识角度来进行探索^[1], 针对产品外观相似判定中人为因素占主导地位、操作中模糊性强等问题依然没有取得良好解决办法的现状^[2], 本文利用感性工学来模拟消费者对产品的感性认知, 结合相似学理论, 构建用于评价产品形态相似度的计算模型, 对品牌内产品方案优选与产品外观专利侵权判定具有一定的辅助意义。

1 图形相似

图形相似是指图形在表达功能上的相似程度, 谭建荣^[3]曾对其基本原理和方法进行了系统的讨论与说明。产品形态相似度计算领域, 文献[4]结合产品轮廓的比例、指向与形状三者, 对其计算进行了构想。而文献[5—8]则系统地讨论了图形相似在指纹识别、人脸识别、字体识别以及计算机图形识别等方面的应用。

在产品形态相似系统中, 一般存在着三种形式的相似, 包括精确相似、可拓相似与模糊相似^[9], 其中精确相似可以精确的计算出对比图形间的相似程度, 可拓相似与模糊相似常为主观判断, 若想结合三者对

收稿日期: 2018-07-11

作者简介: 韩素斌 (1991—), 男, 山西人, 兰州理工大学硕士生, 主攻产品创新设计。

通信作者: 李奋强 (1958—), 男, 甘肃人, 兰州理工大学教授, 主要研究方向为产品系统设计。

产品形态相似度进行计算，则必须构建适合于产品形态相似度计算的模型。

2 产品形态相似度计算模型的构建

产品形态相似度计算模型是一种用于评判产品间相似度的方法，它能够计算出对比形态间的相似程度，判断对比产品间形态的侵权与否，具体研究流程见图 1。

2.1 利用数量化 I 类理论求产品各形态要素的权重

数量化 I 类理论是运用多元回归分析，建立自变量与因变量之间的数学模型，实现对因变量的预测。利用数量化 I 类理论求产品各形态要素在整体形态中的权重，需要结合该类产品构建的样本集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 与对应产品的感性意象词汇指标集 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ 共同构建的 SD 调查问卷，通过数量化 I 类理论对问卷结果进行分析，最终求得权重结果。

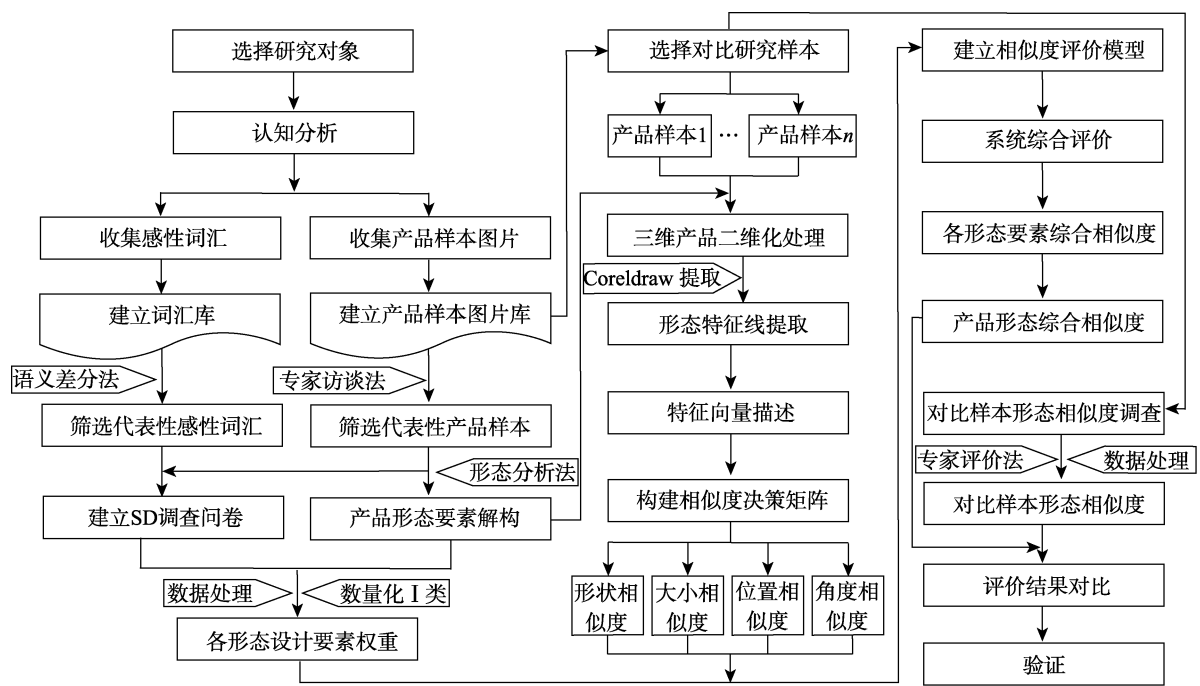


图 1 研究流程
Fig.1 Research flow

2.2 产品各形态要素对应影响因子的分析与计算

通过对产品形态相似度计算中影响因子的分析，发现给人感官造成差异的主要因子包括产品的形状、大小、位置与角度，因此，模型中以产品的形状、大小、位置与角度为评判点，对对比产品间的相似度进行分析与计算。

2.2.1 产品各形态要素形状相似度的分析与计算

产品形状相似度的计算通常包涵两种方法，一种是通过评判者的主观感受进行分析，常采用的方法为问卷调查法；另一种方法是完全采用数学计算的方法^[10-11]，通过对描述形态的点集、向量集或形态曲线进行差异度计算，从而间接求取图形间的相似程度。前者主观性较强，后者则更加客观，但较为科学的方法是主观、客观并重，结合两者，共同构建产品的形态相似度计算模型。

利用向量特征集来计算对比形状间相似度的方

法，需保证描述图形的向量数量一致，若涉及描述对比图形的向量数量不一致的情况，则需对图形进行一致化处理。常用的方法是在平面直角坐标系中，寻求图形的最小覆盖圆，并从圆心散发出 K 条等角度的射线，那么每隔 $2\pi/K$ (K 为整数常数) 弧度就有一条从圆心发散出的射线，标记射线与图形轮廓的交点为关键点，通常会出现以下 3 种情况：无交点、一个交点或多个交点。如若出现无交点的情况，则对该条射线进行反向延长，令反向延长线与图形的交点为标记点，选取标记点中距离圆心坐标最近的点为关键点。如若出现一个交点的情况，则选取该点为关键点；如若出现多个交点的情况，则选择交点中距离圆心坐标最远的点为关键点。通过对得到的关键点进行梳理与依次连接，得到的新图形则为原图形的近似图形。该图形用向量集可描述为 $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{im})^T$ 。

衡量向量相似^[12]与否的主要参数为向量间的夹角与向量的模，本文通过结合欧氏距离与余弦相似度两种求向量间相似度的方法，来计算描述图形的向量

矩阵间的相似程度。计算公式如(1)~(3)。其中： θ 为两向量 p_{ik} 与 p_{jk} 间的夹角， $R_{p_{ik} p_{jk}}$ 为对应向量 p_{ik} 与 p_{jk} 模的比值。

$$q_{shape} = q_{p_{ik} p_{jk}} = \sum_{i=1}^n \frac{0.5 + 0.5 \cdot \cos \theta}{|R_{p_{ik} p_{jk}} - 1| + 1} / n \quad (1)$$

$$\cos \theta = \frac{p_{ik} \cdot p_{jk}}{\sqrt{p_{ik}^2} \cdot \sqrt{p_{jk}^2}} \quad (2)$$

$$R_{p_{ik} p_{jk}} = \frac{|p_{ik}|}{|p_{jk}|} = \frac{\sqrt{p_{ik}^2}}{\sqrt{p_{jk}^2}} \quad (3)$$

2.2.2 产品各形态要素大小相似度的分析与计算

产品各形态要素的大小相似度，可以通过计算对比形态间图形的面积来进行求取，但前提是对比产品间应有一个共同的基准，即保证两个对比产品具有相同的整体大小。具体计算方法如公式(4)。

$$q_{size}(a_{1i}, a_{2i}) = 1 - \left| \frac{Area(a_{1i}) - Area(a_{2i})}{\max(Area(a_{1i}) - Area(a_{2i}))} \right| \quad (4)$$

2.2.3 产品各形态要素位置相似度的分析与计算

产品各形态要素的位置相似度，可以通过计算对比形态要素中心坐标点间的差异来进行求取。但此法的前提是需确定产品各形态要素在整体产品中的位置。计算方法如公式(5)。其中： (x_{1i}, y_{1i}) 与 (x_{2i}, y_{2i}) 分别代表对比形态要素 1 与形态要素 2 的中心坐标， X_1, Y_1, X_2, Y_2 分别代表两对比形态的宽度与高度。

$$q_{position} = 1 - \left(\left| \frac{x_{1i} - \frac{X_1}{2}}{\frac{X_1}{2}} - \frac{x_{2i} - \frac{X_2}{2}}{\frac{X_2}{2}} \right| + \left| \frac{y_{1i} - \frac{Y_1}{2}}{\frac{Y_1}{2}} - \frac{y_{2i} - \frac{Y_2}{2}}{\frac{Y_2}{2}} \right| \right) / 2 \quad (5)$$

2.2.4 产品各形态要素角度相似度的分析与计算

产品各形态要素的角度相似度，可以利用对比形态要素与坐标轴间夹角的差异来进行间接求取，常用的计算方法为余弦相似度，具体如公式(6)。其中： θ_{1i}, θ_{2i} 分别为形态 1 与形态 2 中各形态要素与坐标轴间的夹角。

$$q_{angle} = \cos \theta = \cos(\theta_{1i} - \theta_{2i}) \quad (6)$$

在进行相似度计算时，相似度数值的取值范围一般为[0, 1]，而余弦值的范围是[-1, 1]，因此需要对余弦值表示的相似度数值进行归一化处理，处理方法如公式(7)。

$$q_{angle} = 0.5 + 0.5 \cdot \cos \theta \quad (7)$$

2.3 产品形态的总体相似度

本文构建的产品形态相似度评价模型，主要结合产品各形态要素的形状相似度、大小相似度、位置相似度与角度相似度四者，利用加权求和的方法，求得

对比产品间的最终形态相似度，计算方法如公式(8)。

$$Q = \sum_{i=1}^n q(u_i) \omega_i \quad (8)$$

其中： Q 为两对比产品形态的整体相似度， $q(u_i)$ 为两对比产品间对应第 i 个形态要素的相似度， ω_i 为第 i 个形态要素在整个产品形态中的重要度。

$$q(u_i) = q_{shape} \cdot q_{size} \cdot q_{position} \cdot q_{angle} \quad (9)$$

3 实例研究

3.1 确定研究样本类型及产品的感性意象

将微波炉产品作为案例进行研究，从产品官方网站以及购物平台搜集不同款型的微波炉样本 128 款，通过对样本的分析，筛选出有特色的样本产品 35 款，作为本文的研究对象，并构建样本集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{35}\}$ 。因本文主要针对产品形态进行研究，故将样本集 A 中 35 款微波炉产品图片进行灰度处理，以避免除形态外的其他因素对研究造成影响，处理结果见图 2。

针对微波炉产品的形态特征，搜集并筛选出与微波炉属性相匹配的感性意象词汇 15 个，构建指标集 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_{15}\}$ ，利用 SD 调查问卷法对指标集中 15 个感性意象词汇进行相似度问卷调查，通过对数据处理以及 K-Means 聚类分析，将指标集中 15 个感性意象词汇聚类为 4 类，聚类结果见表 1。选择每一类别中距离聚类中心最近的词汇为代表性感性意象词汇，分别为实用感、高档感、简洁感与现代感。

3.2 产品中各形态要素在整体视觉感官中的重要度计算

利用样本集 A 中的 35 个样本产品、指标集 B 中聚类出的 4 个代表性感性意象，制作五级语义差分量表，用于对微波炉产品的感性评价。该过程共发放调查问卷 20 份，其中微波炉设计人员 10 份，微波炉产品用户 10 份，经过对评价结果的分析计算，求得样本集 A 的指标评价集 C ：

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \cdots & c_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

通过对样本集 A 中产品形态的分析、提取与归纳，得到微波炉产品形态的项目与类目，依据计算机编码规则对类目进行编码，结合样本集 A 的指标评价集 C ，利用数量化 I 类理论方法，求得微波炉产品各形态要素的权重，结果见表 2。为了直观显示，对微波炉产品各形态要素的权值进行归一化处理，得到外轮廓权值为 0.217，观察窗为 0.242，把手为 0.268，操控台为 0.273。

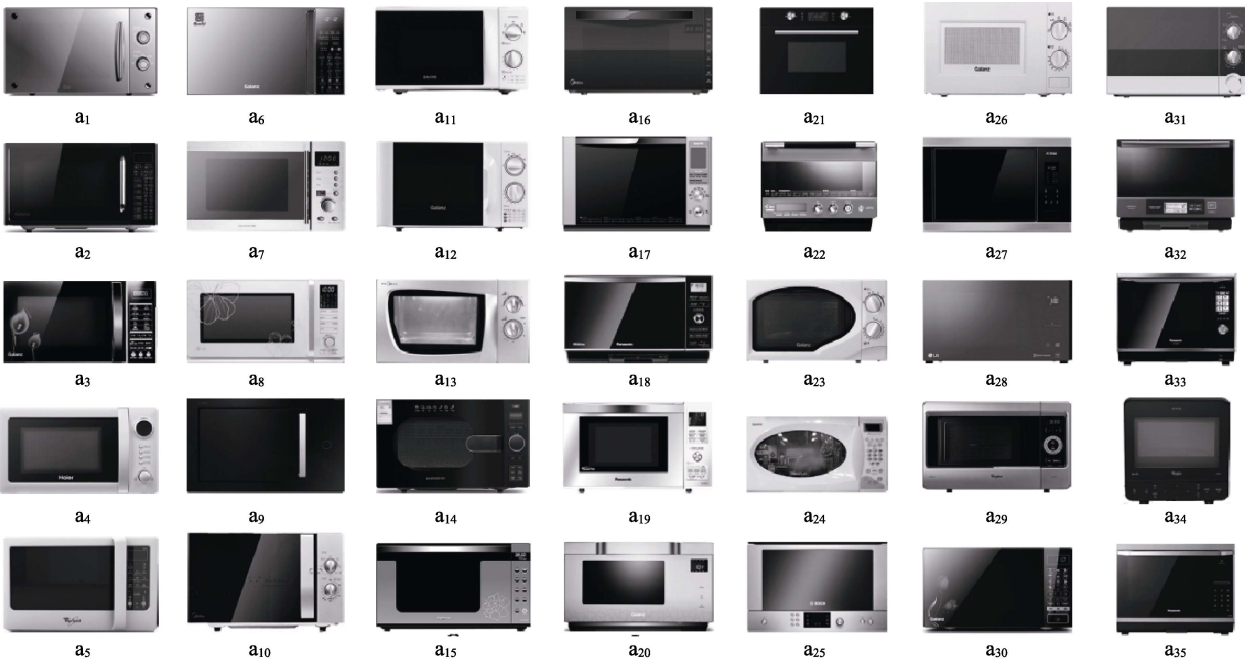


图 2 微波炉产品样本集
Fig.2 Samples of microwave product

表 1 微波炉感性意象词汇分类

Tab.1 Classification of emotional image vocabulary on microwave oven

第 1 类	第 2 类	第 3 类	第 4 类
智能感 0.564	高档感 0.000	美观感 0.548	经典感 0.582
实用感 0.347		简洁感 0.517	协调感 0.518
安全感 0.391		舒适感 0.582	整体感 0.548
大气感 0.629		科技感 0.711	

表 2 复合意象下形态要素间重要度分析

Tab.2 Analysis on importance of morphological factors in compound images

形态要素项目	类目	标准系数	偏相关系数
外轮廓	长方形 A_1	0.495 2	0.529 4
	正方形 A_2	3.171 4	
观察窗	长方形 B_1	0	0.590 1
	正方形 B_2	0.012 8	
	椭圆形 B_3	0.060 2	
	不规则形 B_4	-0.908 3	
	隐藏式 B_5	-0.095 1	
把手	纺锤体 C_1	0	0.651 8
	长方体 C_2	-0.322 9	
	圆柱体 C_3	-1.012 3	
	内嵌式 C_4	-0.958 1	
	圆头矩形 C_5	-0.907 3	
	无把手 C_6	-0.699 1	
操控台	旋钮 D_1	0	0.663 8
	按键 D_2	-0.195 2	
	旋按结合 D_3	-0.476 7	
	触摸 D_4	0.052 6	
复相关系数		r=0.808 5	

3.3 产品形态相似度的对比计算

选择产品市场评价较高的 5 款美的微波炉产品 $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\}$ 构建研究样本集, 定 p_1 为基础样本, 令产品 p_2, p_3, p_4, p_5 分别与 p_1 对比, 计算对比产品间的形态相似度。

3.3.1 对应各形态要素形状相似度的对比计算

计算形状相似度, 首先要保证除形状外的其他变量为固定值, 如大小、角度、位置等, 以避免在形状计算中这些变量对计算结果造成影响。本研究通过对图形旋转、缩放, 将产品各形态要素方向处理至与水平方向平行, 大小处理至最小外接圆为单位圆, 结合处理后的图形轮廓线坐标, 构建描述图形的向量集 D 。利用公式(1)~(3), 求得对比产品间各形态要素的形状相似度 q_{shape} , 矩阵中行为产品 p_2, p_3, p_4, p_5 与 p_1 对应各形态要素的相似度数, 列为对比产品间的形态要素, 分别为外轮廓、观察窗、把手、操控板

以及操控钮。

$$q_{shape} = \begin{pmatrix} 0.9776 & 0.9293 & 0.919 & 0.9256 & 1 \\ 0.9967 & 0.9446 & 0.8779 & 0.9490 & 0 \\ 0.9670 & 0.9367 & 0.6129 & 0.9434 & 0 \\ 0.9995 & 0.9507 & 0 & 0.9414 & 0 \end{pmatrix} \quad (11)$$

3.3.2 对应各形态要素大小相似度的对比计算

借助 CAD 软件求取封闭图形面积的功能实现对比图 3 中 5 个产品各形态要素面积的求取, 利用公式(4), 计算得出产品 p_2, p_3, p_4, p_5 与 p_1 对应形态要素间的大小相似度 q_{size} :

$$q_{size} = \begin{pmatrix} 0.9536 & 0.5517 & 0.6454 & 0.8189 & 0.4969 \\ 0.9926 & 0.577 & 0.5536 & 0.861 & 0 \\ 0.9543 & 0.5672 & 0.0492 & 0.85 & 0 \\ 0.9979 & 0.5851 & 0 & 0.801 & 0 \end{pmatrix} \quad (12)$$

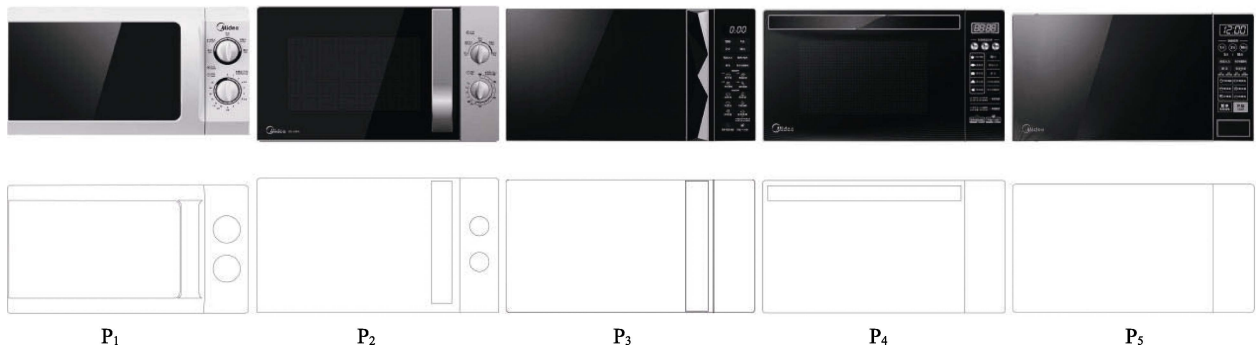


图 3 微波炉产品相似度研究样本与线框

Fig.3 Samples and wireframes for similarity study of microwave product

3.3.3 对应各形态要素位置相似度的对比计算

以图 3 中产品各形态要素的中心坐标为基础, 利用公式(5), 计算得出产品 p_2, p_3, p_4, p_5 与 p_1 对应形态要素间的位置相似度 $q_{position}$:

$$q_{position} = \begin{pmatrix} 1 & 0.9401 & 0.9690 & 0.9883 & 0.969 \\ 1 & 0.9423 & 0.9898 & 0.9904 & 0 \\ 1 & 0.9424 & 0.2575 & 0.9905 & 0 \\ 1 & 0.9399 & 0 & 0.9881 & 0 \end{pmatrix} \quad (13)$$

3.3.4 对应各形态要素角度相似度的对比计算

依据产品对应各形态要素与坐标轴间夹角的不同, 利用公式(6)~(7), 计算得出产品 p_2, p_3, p_4, p_5 与 p_1 对应形态要素间的角度相似度 q_{angle} :

$$q_{angle} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0.5 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (14)$$

3.3.5 对比样本总体相似度的计算

对比样本总体相似度的计算建立在对应产品各

形态要素相似度计算的基础之上, 利用公式(9), 计算得出对应产品间每个形态要素的总体相似度 $q(u_i)$:

$$q(u_i) = \begin{pmatrix} 0.8923 & 0.4654 & 0.4223 & 0.697 & 0.4827 \\ 0.9835 & 0.5125 & 0.4281 & 0.8163 & 0 \\ 0.9426 & 0.4913 & 0.0338 & 0.7542 & 0 \\ 0.9963 & 0.5226 & 0 & 0.6905 & 0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

因样本微波炉产品 p_3, p_4, p_5 与 p_1 的操控系统不属于相同类别, 给人的视觉感官也完全不同, 故人为设定其相似度值为 0。依据表 2 中求得的微波炉产品各形态要素权重, 利用公式(8), 最终求得对比样本间的整体形态相似度 Q_i :

$$Q_i = \begin{pmatrix} 0.693 \\ 0.5034 \\ 0.3576 \\ 0.356 \end{pmatrix} \quad (16)$$

结果见图 4, 其中, 行为另外 4 款微波炉产品 p_2, p_3, p_4, p_5 与 p_1 各形态要素的对比, 列为对比微波炉产品间各形态要素的形态相似度数。

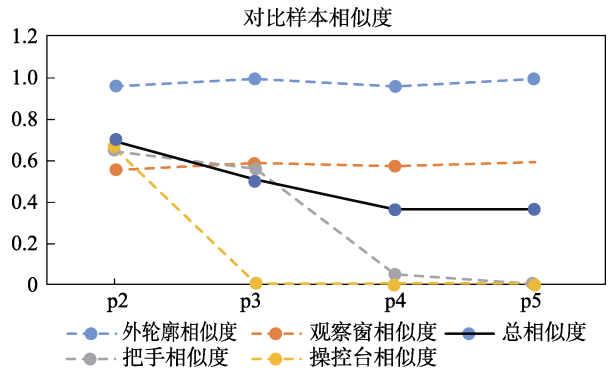


图 4 对比样本相似度
Fig.4 Comparison of sample similarity

3.4 对比样本总体相似度的计算值与主观评价结果的对比

利用本文的相似度评价模型，求得研究样本 p_2 ， p_3 ， p_4 ， p_5 与 p_1 的相似度数值为 (0.693, 0.5034, 0.3576, 0.356)，利用专家评价法求得研究样本 p_2 ， p_3 ， p_4 ， p_5 与 p_1 的相似度数值为 (0.62, 0.41, 0.26, 0.26)。异同处在于前者相似度结果中 $Q_5 > Q_4$ ，后者相似度结果中 $Q_5 = Q_4$ ，对比结果见表 3，造成结果不同的原因在于人的主观评价具有模糊性与差异性，而文中模型是通过对描述图形的向量进行计算，更加客观。

表 3 不同数据源的相似度排序
Tab.3 Similarity ranking of different data sources

相似度数据来源	相似度排序
专家评价法求相似度	$Q_2 > Q_3 > Q_5 = Q_4$
相似度评价模型求相似度	$Q_2 > Q_3 > Q_5 > Q_4$

4 结语

在图像识别与图形相似度计算领域，人脸识别、字体识别等模块都比较成熟，而关于产品形态相似度评判模块却依旧比较欠缺。本文结合相似学理论、图形相似计算方法以及感性工学等基础工具，构建一套用于评价产品形态相似度的计算模型，并通过专家评价法进行验证，得出该模型更具客观性的结论，但在产品相似度计算领域，产品形态、色彩、材质、表面加工工艺、以及各因素间的耦合度等都会对人的视觉感官造成影响，因此在后续的产品相似度研究中，将综合以上几点，为评判者提供更加科学、准确的方法与数据。

参考文献：

[1] 周雅. 中国工业设计知识产权保护[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
ZHOU Ya. The Research on the Intellectual Property

Protection of China's Industrial Design[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.

[2] 姜冰. 产品设计中的知识产权探索和研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2014.

JIANG Bing. Exploration and Research on Intellectual Property in Product Design[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2014.

[3] 谭建荣, 岳小莉, 陆国栋. 图形相似的基本原理、方法及其在结构模式识别中的应用[J]. 计算机学报, 2002, 25(9): 959—967.

TAN Jian-rong, YUE Xiao-li, LU Guo-dong. Basic Principle, Method of Graphic Similarity and Its Application to Structure Pattern Recognition[J]. Journal of Computer Science, 2002, 25(9): 959—967.

[4] RANSCOMBE C, HICKS B, MULLINEUX G. A Method for Exploring Similarities and Visual References to Brand in the Appearance of Mature Mass-market Products[J]. Design Studies, 2012, 33(5): 496—520.

[5] SHRIVASTAVA A, SRIVASTAVA D K. A Partition Based Novel Approach in AFIS for Forensics & Security[J]. Procedia Computer Science, 2016, 78: 771—776.

[6] ZHENG H, GENG X, TAO D, et al. A Multi-task Model for Simultaneous Face Identification and Facial Expression Recognition[J]. Neurocomputing, 2016, 171(C): 515—523.

[7] BOZKURT A, DUYGULU P, CETIN A E. Classifying Fonts and Calligraphy Styles Using Complex Wavelet Transform[J]. Signal Image & Video Processing, 2015, 9(1): 225—234.

[8] 陈伟平. 图像相似性计算及其 GPU 加速的若干研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2013.

CHEN Wei-ping. Image Similarity Calculation and GPU Acceleration Research[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2013.

[9] 周美立. 相似工程学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.

ZHOU Mei-li. Similarity Engineering[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1998.

[10] 冯晓文. 基于 GPU 的相似度计算关键技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2014.

FENG Xiao-wen. Research on Key Technology of Similarity Calculation Based on GPU[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2014.

[11] SKYUM S. A Simple Algorithm for Computing the Smallest Enclosing Circle[M]. Elsevier North-Holland, Inc., 1991.

[12] 宋翔, 颜长珍. 基于知识库的像斑光谱向量相似度土地覆盖变化检测方法[J]. 生态学报, 2014, 34(24): 7175—7180.

SONG Xiang, YAN Chang-zhen. Land Cover Change Detection Using Segment Similarity of Spectrum Vector Based on Knowledge Base[J]. Journal of Ecology, 2014, 34(24): 7175—7180.