

基于层次分析法的儿童智能手表设计评价研究

邓卫斌, 祝红星

(湖北工业大学, 武汉 430068)

摘要: **目的** 解决产品设计方案后期评价问题。**方法** 提出了一种基于层次分析法(AHP)的设计评估方法, 首先将产品分解为若干待评价的指标并对其进行评价打分, 整理数据并计算出各指标的权重值, 最终得出各方案的综合得分进而排序。**结果** 通过 3 款儿童智能手表的市场销售调查数据验证了该排序结果的准确性, 为产品设计方案的有效评估提供了参考。**结论** 将层次分析法引入设计评价中, 可有效降低设计评价中待评估要素多、对评估者的经验知识依赖大、各因素与最终方案之间的影响关系难以判断等问题所带来的不利影响。

关键词: 工业设计; 儿童智能手表; 感性工学; 层次分析法; 设计评价

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)08-0121-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.08.025

Design Evaluation of Children's Smart Watches Based on AHP

DENG Wei-bin, ZHU Hong-xing

(Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

ABSTRACT: It aims to solve the difficult problem of product design evaluation. A design evaluation method based on Analytic Hierarchy Process(AHP) is put forward. Through integrating all views and different factors, the impact of factors on the overall product in the form of data is reflected and all design schemes are finally sequenced after calculating their scores. The accuracy of the proposed method is verified by the data of three children's smart watches in Tmall mall and it will provide a reference for the effective evaluation of product design. By introducing Analytic Hierarchy Process into design evaluation, we can effectively reduce adverse effects such as multiple elements to be evaluated, over dependence on evaluators' experience and the difficulties to judge the relation between design assessment and various factors during the process of design evaluation.

KEY WORDS: industrial design; children's smart watches; kansei engineering; AHP; design evaluation

随着科技的发展与智能硬件产业的火爆, 各种智能产品如雨后春笋般被研发并推向大众的视野, 大大方便了人们的生活。不同于传统的工业产品, 智能硬件因其硬件与软件的紧密结合, 对交互体验的高度依赖, 将人—产品的人机交互推向了新的高度。技术的进步与人们的过高期待使得智能硬件产品的更新迭代更加迅速, 缩短产品周期、提升用户满意度是企业激烈的市场竞争中存活的重要考量因素之一, 如何对设计方案进行快速有效的评价和筛选就显得尤为重要。产品设计评价一直是工业设计中的重点研究领

域之一, 为了降低设计评价过程中对设计师的设计经验与往复试验的过度依赖, 许多学者从不同角度进行了研究。张东方等人^[1]提出了基于 FAHP 的界面可用性评价方法; 黄河等人^[2]运用感性工学对老年人智能产品进行了设计评价; 李峰平等人^[3]采用灰色关联法对产品满意度进行评价研究; 肖国栋等人^[4]将灰色关联分析理论与模糊数学相结合对产品易用性进行了评价研究; 赵慧亮等人^[5]应用 TOPSIS 研究评价了人机界面体验度量。这里将以儿童智能手表设计为例, 采用层次分析法对其进行评价研究。

收稿日期: 2017-12-28

作者简介: 邓卫斌(1970—), 男, 湖北人, 硕士, 湖北工业大学教授, 主要研究方向为儿童产品设计、文创产品等。

通信作者: 祝红星(1991—), 男, 河南人, 湖北工业大学硕士生, 主攻产品创新设计。

1 儿童智能手表

儿童智能手表属于儿童智能穿戴产品的一种，近年来发展迅速，市场不断扩大，一定程度上解决了儿童易走失的社会问题。作为辅助家长陪护孩子的重要产品，其在最初的计时、通话与定位功能之外，还兼具健康监测、游戏娱乐和知识教育等众多功能，给家庭生活带来了许多方便与乐趣。儿童智能手表主要由表盘、表带、操作系统 3 个方面构成，针对 2~14 岁儿童设计研发。面对日益激烈的市场竞争与消费者不断增长的新的需求，如何实现产品的快速迭代更新对企业来说尤为重要，在市场调研与产品设计过程中对设计方案的有效筛选能大大缩短产品开发周期，提高企业竞争力^[6]。通过引入层次分析法将儿童智能手表的整体设计分解为若干指标，再对这些指标进行评价打分，最后间接得到产品的整体评价得分，从而判断出更加符合儿童喜好与特点的产品设计方案。

2 层次分析法

层次分析法（Analytic Hierarchy Process，AHP）诞生于 20 世纪 70 年代，由美国运筹学家 T L Saaty 提出，是一种将定性定量相结合，通过确定权重因子使得原本复杂的评价问题分解成一个个可量化的评价对象然后归纳汇合的科学方法^[7-8]。在儿童智能手表设计评价中，由于儿童本身对设计方案难以有效评价，所以引入层次分析法让行业专家、设计师、家长等相关人员对各评价指标进行打分，间接评选出更加符合儿童特点的设计方案。分析过程的数据化可一定程度上避免过往评价方法中过度依赖相关决策人员的经验所导致的主观性和随意性，目前在工业分析与决策领域已得到广泛应用，受到越来越多学者的推崇^[9]。

2.1 评价指标体系的构建

通过对儿童智能手表进行设计调研，了解其功能、使用场景、用户的诉求等方面的信息后，在咨询行业专家的建议以及查阅相关文献资料后，从“物理—认知—情感”3 个角度将儿童智能手表设计评价 G 分为功能 U_1 ，外观 U_2 ，体验 U_3 3 个方面，构建一级评价指标集 $U = \{U_1, U_2, U_3\}$ 。通过专家访谈和用户问卷，收集了针对上述 3 个方面 12 项评价指标，给行业专家以及专业设计师进行评审，分析过程利用德尔菲法^[10]进行多轮，使得整体意见趋于集中一致，构建二级评价指标集 $U_1 = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\}$ ， $U_2 = \{V_6, V_7, V_8\}$ ， $U_3 = \{V_9, V_{10}, V_{11}, V_{12}\}$ ，最终得到儿童智能手表设计的评价指标体系，见图 1。

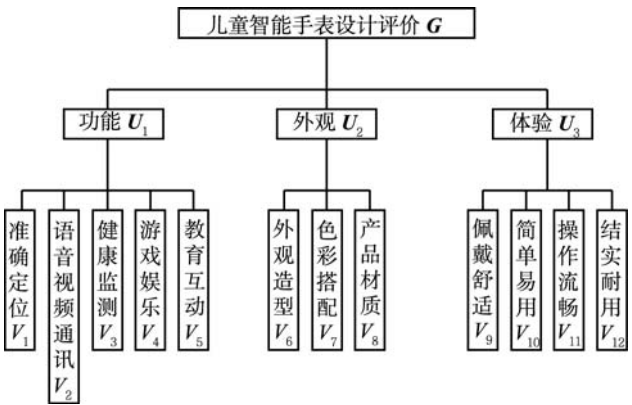


图 1 儿童智能手表设计评价指标体系

Fig.1 Evaluation index system for children's smart watch design

2.2 构建评价指标的判断矩阵

根据层次分析法，为了计算出各层指标的权重值，采用两两比较的形式构建出优先关系矩阵，假设有元素 $a_1, a_2, \dots, a_n$ ，则优先关系矩阵： $E = \{a_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}$ 。其中： a_{ij} 表示元素 a_i 和元素 a_j 对于上级指标的贡献度比较，从层次结构模型的第 2 层开始，对于从属于（或影响）上一层每个因素的同一层诸因素，由专家、设计师以及儿童父母用成对比较法和 1~9 比较标度构造成对比较阵，直到最下层^[11]，见表 1。

表 1 比较判断矩阵中比例标度的含义

Tab.1 The meaning of ratio in comparison judgment matrix

相对重要程度赋值(i/j)	含义	标度说明
1	同等重要	指标 <i>i</i> 和指标 <i>j</i> 相比同等重要
3	稍微重要	指标 <i>i</i> 比指标 <i>j</i> 相比稍微重要
5	明显重要	指标 <i>i</i> 比指标 <i>j</i> 相比明显重要
7	强烈重要	指标 <i>i</i> 比指标 <i>j</i> 相比强烈重要
9	极端重要	指标 <i>i</i> 比指标 <i>j</i> 相比极端重要
2, 4, 6, 8	折中时使用	根据相邻标度确定重要程度

2.3 层次分析模型中指标权重值的计算及方案总排序

层次分析法在工业分析与决策领域得到广泛应用，多用于对有限方案进行多目标、多属性的决策分析，计算出各目标与属性对于整体方案的权重值，最后再通过综合运算得出各方案的总数值，通过排序来确定各方案

的优劣程度，进而辅助决策者做出判断^[12—13]。在应用层次分析法进行评价时，各指标权重值的计算比较关键，相对于熵值法和变异系数法，层次分析法在解决定性指标变量方面更具优势。采用层次分析法进行指标权重值计算并最终排序，具体步骤如下。

2.3.1 构造评价指标特征矩阵

假设有 M 个待决策方案，则可组成方案集 $G = \{G_1, G_2, \dots, G_M\}$ ；有 N 个评价目标或属性组成评价指标集 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_N\}$ ，则有评价指标特征矩阵 A ： $A = (a_{ij})_{m \times n} (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$ 。

2.3.2 确定各指标的权重

由 F 名决策者组成决策者集 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_F\}$ ，对各评价指标用 1~9 的比例标度进行两两比较，将评价指标特征矩阵 $A = (a_{ij})_{m \times n}$ 构造模糊一致矩阵，通过模糊一致性矩阵计算元素 $a_1, a_2, \dots, a_n$ 的权重值 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ 。

对矩阵 $A = (a_{ij})_{m \times n}$ 通过公式(1)按行求和，经数学变换^[14]： $a_{ij} = (a_i - a_j) / 2(n-1) + 0.5$ ，从而得到模糊一致性矩阵 $A = (a_{ij})_{m \times n}$ ，然后通过公式(2)(3)对判断矩阵采用行和归一化计算，可得出特征向量 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ ，即 $U_1 \sim U_3$ 及 $V_1 \sim V_{12}$ 各指标相对于上级指标 G 的权重值，满足公式(4)：

$$a_i = \sum_{k=1}^n e_{ik} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \tag{1}$$

$$a_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n) \tag{2}$$

$$\omega_i = \frac{\omega_i}{\sum_{j=1}^n \omega_j} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n) \tag{3}$$

$$\omega_i = \frac{\sum_{j=1}^n e_{ij} + \frac{n}{2} - 1}{n(n-1)} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \tag{4}$$

2.3.3 一致性检验

在得出各项指标的权重值后，还要对其进行一致性检验，当一致性比例 CR 低于 10% 时则判断矩阵具有一致性，按照公式(5)(6)进行计算，方法如下：

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(A\omega)_i}{n\omega_i} \tag{5}$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{6}$$

根据表 2 可以得到阶数 n 所对应的随机一致性系数 (RCI)。

表 2 平均随机一致性指标
Tab.2 Average random consistency index

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RCI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

计算得： $CR = CI / RCI$ ，若 $CR < 0.1$ ，通则过一致性检验。

2.4 综合排序计算

在得到各项指标对于整体的权重值后，引入综合系数法^[15]，将调研所得到的各指标的平均值与该指标的权重系数乘积求和，得出该方案的总分，并以此方法求出各待评价方案的总分进行排序，计算公式(7)如下：

$$X = \omega_1 \cdot \bar{V}_1 + \omega_2 \cdot \bar{V}_2 + \dots + \omega_n \cdot \bar{V}_n \tag{7}$$

其中： $\bar{V}_n$ 为样本评价均值； ω_n 为指标 V_n 的权重值。

3 案例分析

3.1 方案的选取与原始数据矩阵的构建

为了验证该方法的有效性，从市场上选取 3 款不同样式的儿童智能手表作为待评价方案，见图 2。



图 2 待评价的儿童智能手表方案
Fig.2 Children's smart watches for evaluation

以上 3 组方案组成方案集 G ，同时由行业专家、父母、设计师组成共计 40 名决策者集 M ，结合图 1 儿童智能手表设计评价体系，从 $U_1 \sim U_3$ 及 $V_1 \sim V_{12}$ 等方面用李克特量表法^[16]在 0~10 分的区间内对 3 款方案进行打分，取平均值建立原始数据矩阵，见表 3。

表 3 原始数据矩阵
Tab.3 The original data matrix.

评价指标	方案X得分	方案Y得分	方案Z得分
V1	7.31	6.56	5.97
V2	8.16	7.92	8.64
V3	3.23	5.01	2.88
V4	5.06	2.63	4.58
V5	6.97	5.13	4.13
V6	7.68	9.52	4.64
V7	6.12	9.22	4.93
V8	6.93	9.05	3.85
V9	8.13	8.83	6.72
V10	8.39	5.74	7.47
V11	7.96	6.87	6.54
V12	7.52	8.13	7.89

3.2 计算各评价指标的权重值

根据层次分析法对各评价指标用 1~9 的比例标度进行两两比较,将评价指标特征矩阵 $A=(a_{ij})_{m \times n}$ 构造模糊一致矩阵,通过模糊一致性矩阵计算各评价指标 $V_1, V_2, \dots, V_{12}$ 的权重值 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{12}$,见表 4。

表 4 各评价指标的权重值
Tab.4 Weight value of each evaluation index

评价指标	ω_i	评价指标	ω_i
V_1	0.0973	V_7	0.1307
V_2	0.0848	V_8	0.1248
V_3	0.0548	V_9	0.0948
V_4	0.0173	V_{10}	0.1073
V_5	0.0248	V_{11}	0.0864
V_6	0.1052	V_{12}	0.0718

在得出各项指标的权重值后,对其进行一致性检验,经过计算得出 $CR=0.039<0.1$,通过一致性检验,证明该判断矩阵具有一致性。

根据以上的各指标的层次总排序权重计算结果可知,对于儿童智能手表的设计评价,在功能方面,定位追踪和语音视频通信所占比重位居前两位;在外观方面,手表的造型、色彩和材质三者不相上下;体验方面则是佩戴舒适与安全耐用更为重要。得到儿童智能手表的各指标在整体设计评价中所占的比重之后,就可以结合表 2 中的原始数据矩阵利用综合系数

法对 3 款手表进行总分的计算以及排序。

3.3 利用综合系数法计算各方案的总得分

通过父母、专业设计师、专家组成的决策者集,利用李克特量表法得到了 3 款儿童智能手表各二级指标的权重值以后,引入综合系数法对各项指标进行求和计算,得出的数值如下:

$$X=\omega_1 \cdot \bar{V}_{X_1}+\omega_2 \cdot \bar{V}_{X_2}+\dots+\omega_n \cdot \bar{V}_{X_n}=7.2119$$

$$Y=\omega_1 \cdot \bar{V}_{Y_1}+\omega_2 \cdot \bar{V}_{Y_2}+\dots+\omega_n \cdot \bar{V}_{Y_n}=7.7234$$

$$Z=\omega_1 \cdot \bar{V}_{Z_1}+\omega_2 \cdot \bar{V}_{Z_2}+\dots+\omega_n \cdot \bar{V}_{Z_n}=5.8361$$

由此得出 3 款手表的综合得分排序为: $Y>X>Z$,即儿童智能手表 Y 最优。

4 评价结果检验

在得到 3 款手表的综合排序以后,需对排序结果进行验证。验证的方法主要依靠 3 款手表在电商平台中的销量、人气值以及结合相关评论综合得出。考虑到京东商城只显示商品评价数以及淘宝平台中的山寨产品过多,因此选定天猫商城的数据作为判断依据。通过“儿童智能手表”这一关键词进行搜索,可以分别得到 3 款产品的月销量与评价数,“人气值排名”则通过专业电商数据查询工具“查排名”获取,最终数据归纳见表 5。经验证,表 5 中的排序结果与引入层次分析法所得出的评价结果相吻合,证明了该方法具有一定的可行性。

表 5 3 款产品在天猫商城中的数据汇总
Tab.5 Data collection of three products in Tmall mall

名称	产品图片	人气值排名	月销量	评论数
智恩儿童手表		第6名	2913	1.40万
米兔儿童手表		第4名	6370	1.58万
小天才儿童手表		第9名	1967	1.19万

5 结语

为了降低产品设计评价过程中对设计师的设计经验与往复试验的过度依赖这一工业设计领域中的难点问题,帮助设计师及管理层进行快速有效、科学客观的决策,将层次分析法引入到产品评价过程中,并以 3 款儿童智能手表为例对该方法进行了验证,从

功能、外观、体验 3 个方面延伸出 12 个二级指标构建评价指标体系,计算出各指标的权重值,结合原始数据矩阵最终得出各方案的综合排序,并通过 3 款产品的市场销售调查数据验证了该方法的可行性。总体而言层次分析法的引入可使复杂、模糊的设计评价转换为定量化求解,多适用于总体目标不确定且各分层次目标较少时,能有效提高评价的准确性与可信性,

为设计评价者提供一种参考。

参考文献:

- [1] 张东方. 基于 FAHP 的立体车库人机界面可用性评价方法[J]. 机械设计, 2014, 31(4): 97—99.
ZHANG Dong-fang. Usability Evaluation Method of Human Machine Interface Based on FAHP[J]. Mechanical Design, 2014, 31(4): 97—99.
- [2] 黄河, 杨明刚. 基于感性工学的老年人智能产品可用性研究[J]. 机械设计, 2016, 33(4): 109—112.
HUANG He, YANG Ming-gang. Research on Usability of Intelligent Products for the Aged Based on Kansei Engineering[J]. Mechanical Design, 2016, 33(4): 109—112.
- [3] 李峰平, 周余庆, 付培红, 等. 基于灰关联分析的产品满意度三维层次评价模型[J]. 中国机械工程, 2009(12): 1445—1449.
LI Feng-ping, ZHOU Yu-qing, FU Pei-hong, et al. A Three Level Evaluation Model of Product Satisfaction Based on Grey Relational Analysis[J]. China Mechanical Engineering, 2009(12): 1445—1449.
- [4] 肖国栋, 李晓, 肖铭, 等. 基于易用性的人机界面评价[J]. 西南师范大学学报自然科学版, 2009, 34(3): 98—102.
XIAO Guo-dong, LI Xiao, XIAO Ming, et al. Evaluation of Human-Machine Interface Based on the Usability[J]. Journal of Southwestern Normal University Natural Science Edition, 2009, 34(3): 98—102.
- [5] 赵慧亮, 何林, 林丽, 等. 基于 TOPSIS 的数字化人机界面体验度量评价[J]. 机械设计, 2016, 33(1): 120—123.
ZHAO Hui-liang, HE Lin, LIN Li, et al. Digital Human Machine Interface Experience Measurement and Evaluation Based on TOPSIS[J]. Mechanical Design, 2016, 33(1): 120—123.
- [6] 罗仕鉴, 应放天, 李佃军. 儿童产品设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
LUO Shi-jian, YING Fang-tian, LI Dian-jun. Children's Product Design[M]. Beijing: China Machine Press, 2011.
- [7] SAATY T L. Analytic Hierarchy Process[J]. Mathematical Models for Decision Support, 2013(4): 109—121.
- [8] SAATY T L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process[J]. International Journal of Services Sciences, 2008, 1(1): 83—98.
- [9] SONG D W, YEO G T. A Competitive Analysis of Chinese Container Ports Using the Analytic Hierarchy Process[J]. Palgrave Macmillan UK, 2015, 6(1): 34—52.
- [10] 徐嵩婷. 德尔菲法的应用及其难点[J]. 中国统计, 2006(9): 57—59.
XU Ai-ting. The Application and Difficulty of the Delphi Method[J]. China Statistics, 2006(9): 57—59.
- [11] 邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7): 94—100.
DENG Xue, LI Jia-ming, ZENG Hao-jian, et al. Analysis and Application of the Weight Calculation Method of Analytic Hierarchy Process[J]. Mathematics Practice and Cognition, 2012, 42(7): 94—100.
- [12] 崔学萍, 黄艳群. 工业设计方案评价中的层次分析法研究[C]. 国际塑性加工先进技术研讨会, 2007.
CUI Xue-ping, HUANG Yan-qun. Study on the Analytic Hierarchy Process in the Evaluation of Industrial Design Scheme[C]. International Symposium on Advanced Plastic Processing Technology, 2007.
- [13] 姬东朝, 宋笔锋, 喻天翔. 模糊层次分析法及其在设计方案选优中的应用[J]. 系统工程与电子技术, 2006, 28(11): 1692—1694.
JI Dong-zhao, SONG Bi-feng, YU Tian-xiang. Fuzzy AHP Method and Its Application in Design Scheme Selection[J]. System Engineering and Electronic Technology, 2006, 28(11): 1692—1694.
- [14] 谭世勇, 索双富, 陈绍仁, 等. 基于层次分析法的机械元件失效率预计[J]. 机械设计, 2014(3): 6—10.
TAN Shi-yong, SUO Shuang-fu, CHEN Shao-ren, et al. Efficiency Prediction of Mechanical Components Based on AHP[J]. Mechanical Design, 2014(3): 6—10.
- [15] 孔造杰, 郝永敬. 用权重概率综合系数法确定 QFD 中用户要求重要性[J]. 计算机集成制造系统, 2001, 7(2): 65—67.
KONG Zao-jie, HAO Yong-jing. Confirming the Importance of User Requirements in QFD with the Probability-Importance Comprehensive Coefficient Method [J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2001, 7(2): 65—67.
- [16] 亓莱滨. 李克特量表的统计学分析与模糊综合评判[J]. 山东科学, 2006, 19(2): 18—23.
QI Lai-bin. Statistical Characteristics Analysis and Fuzzy Comprehensive Evaluation of Likert Scale[J]. Shandong Science, 2006, 19(2): 18—23.