



包装工程

Packaging Engineering

ISSN 1001-3563, CN 50-1094/TB

《包装工程》网络首发论文

题目：基于 AHP/QFD/TRIZ 的智能门卫机器人设计研究
作者：于梦豪，崔俊杰
网络首发日期：2023-06-13
引用格式：于梦豪，崔俊杰. 基于 AHP/QFD/TRIZ 的智能门卫机器人设计研究[J/OL]. 包装工程. <https://kns.cnki.net/kcms2/detail/50.1094.tb.20230612.1016.002.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

基于 AHP/QFD/TRIZ 的智能门卫机器人设计研究

于梦豪，崔俊杰

(郑州轻工业大学，郑州 450002)

摘要：目的 针对新形势下公共场所出入的物业管理工作，设计一款智能门卫机器人，助力新时代的智慧社区建设。**方法** 从用户需求出发，使用 AHP 分析得出各项用户需求的权重值，通过 QFD 将用户需求转化为产品的技术特性，根据用户需求和技术特性的相关属性构建产品的质量屋，计算各项技术特性的绝对以及相对权重值并确定各项技术特性之间的自相关关系，从而发现设计过程中可能存在的矛盾冲突，运用 TRIZ 理论对冲突进行描述，并选择合适的分离原理和发明原理对冲突进行解决，得到产品设计的创新解。**结果** 根据对用户需求和产品技术特性分析计算以及应用 TRIZ 原理解决冲突的结果，完成智能门卫机器人的设计。**结论** 基于该设计流程进行设计的智能门卫机器人能够有效满足物业管理人员以及普通民众 2 个用户群体的使用需求，为智能机器人助力智慧社区建设提供了新思路及参考。

关键词：AHP；QFD；TRIZ；门卫机器人

Research on the design of intelligent janitorial robot based on AHP/QFD/TRIZ

YU Meng-hao, CUI Jun-jie

(Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002)

Abstract: Objective To design an intelligent gatekeeper robot for the property management work of access to public places in the new situation, to help the construction of smart communities in the new era. **Methods** Starting from the user requirements, we use AHP analysis to derive the weight values of each user requirement, transform the user requirements into the technical characteristics of the product through QFD, construct the quality house of the product according to the relevant attributes of user requirements and technical characteristics, calculate the absolute and relative weight values of each technical characteristic, and determine the autocorrelation between each technical characteristic, so as to discover the possible conflicts in the design process. The conflict is described by applying TRIZ theory, and the appropriate separation principle and invention principle are selected to solve the conflict and get the innovative solution of product design. **Results** Based on the results of the analysis and calculation of user requirements and product technical characteristics and the application of TRIZ principles to resolve conflicts, the design of intelligent janitorial robot was completed. **Conclusion** The intelligent janitorial robot designed based on this design process can effectively meet the needs of two user groups, property management staff and the general public, and the study provides a new idea as well as a reference for intelligent robots to help build a smart community.

KEY WORDS: AHP; QFD; TRIZ; Janitorial robots

随着互联网、物联网、大数据、人工智能等信息技术的快速发展以及在城市建设中的应用日渐广泛，我国智慧城市的建设步伐不断加快，5G 时代的到来，更是为未来“万物皆可联”的生活增添了一份新期待。智慧社区建设作为智慧城市的重要组成部分，其发展同样步入关键期，其中物业管理作为直接影响人们工作、生活居住环境舒适度的因素之一，是智慧社区建设的重要目标和内容。在传统物业管理中存在着管理人员工作任务重、重复性劳动高、人员流失率大以及服务质量低等问题，而信息技术的发展则为传统物业管理行业的转型与变革提供了新的发展机遇，当前在智慧社区建设需求的推动下，传统物业管理行业正在加快人工智能在领域内的融合应用，在本次新冠肺炎疫情防控工作中，社区作为控制疫情的第一道防线，疫情防控的主战场之一，智慧社区建设、智慧物业管理在其中发挥了关键作用，无接触式的智慧化管理解决了常规手段难以解决的痛点，通过科技创新创造了巨大的社会价值。经历本次新冠疫情的严酷考验，智慧社区在未来应急管理、社区发展中的作用越发应该受到重视，如何正确地拥抱数字浪潮，将新技术融入到物业管理与服务之中，从而推进物业管理智慧化进程需要我们进行不断地探索以及深入地研究，本文通过集成 AHP/QFD/TRIZ 创新设计方法，构建科学的智能门卫机器人设计流程，从用户需求出发，融合大数据以及智能化技术对物业管理门卫机器人进行创新性设计，使之为管理人员以及民众提供安全便捷的服务，助力新时代智慧社区建设以及智慧物业管理工作。

1 智慧社区服务机器人研究现状分析

智慧社区主要是指通过利用各种智能技术和方式为社区群众提供多种便捷服务的模式,其内容包括智慧物业管理、智慧养老、智慧家居等,因此智慧社区的建设工作涉及居民生活的方方面面,其中在智能机器人服务建设智慧社区方面,相关学者做出大量的研究,杨帅^[1]对面向智慧社区的户外智能消防机器人进行了设计,以期未来智慧社区消防安全产品的开发设计提供借鉴和参考。周萍^[2]采用栅格法建模和改进蚁群算法相结合的办法,对防疫机器人在智慧社区配送的最短路径进行了规划。胡凯程等^[3]则根据国内现有的快递“最后一公里”配送方式中存在的问题,提出了面向社区的智能无人快递机器人设计构想。何秋等^[4]对社区老年人对于陪护机器人的使用意愿进行了探讨,以推动机器人辅助养老模式的开展。综上所述,针对智慧社区建设工作相关学者从不同的角度对智能机器人进行了探索,本文则以用户需求为导向,探索服务于社区内公共场所门岗查验管理工作的门卫机器人,丰富智慧社区服务机器人的探索路径,助力智慧社区建设。

2 集成 AHP/QFD/TRIZ 理论的创新设计方法

2.1 AHP/QFD/TRIZ 理论概述

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process), 简称 AHP, 是美国运筹学家 T L Saaty 在 20 世纪 70 年代提出的一种定性和定量相结合的决策分析法^[5], 在很多涉及到决策的领域都会应用到该方法, 使用该方法可以客观地对多个复杂要素进行分析, 并计算每个要素的权重值^[6], 因此可以帮助设计人员首先对产品的多个设计要素进行优先级排序。

QFD 是由日本质量专家水野滋 (Shigeru Mizuno) 和赤尾洋二 (Yoji Akao) 于 20 世纪 60 年代末提出的以顾客需求驱动的产品设计方法^[7], 该方法主要是通过构建质量屋来把顾客的需求、偏好和期望带入到产品的设计过程中, 从而实现用户需求向产品技术特性的转化, 因此可以在设计的各个阶段首选, 对于保证产品质量提供了一种可行方法^[8]。如今 QFD 已被广泛应用于企业、学术与实践过程中, 用于创新设计领域更是可以帮助设计人员降低返工次数与成本, 提高研发效率^[9]。

TRIZ 理论是苏联 G S Altshuler 及其领导的一批研究人员在分析研究世界各国 250 万件专利的基础上所提出的发明问题解决理论^[10], 该理论通过使用 40 条发明原理和 39 个工程参数可以有效化解产品开发过程中可能存在的矛盾与冲突, 如今该理论被广泛地应用于多个学科领域, 尤其是近年来在工业设计领域得到了长足发展和利用^[9]。

2.2 AHP/QFD/TRIZ 的集成应用

QFD 作为用户需求向产品技术特性转化的“中介”, 在产品设计与开发过程中起着至关重要的作用。QFD 的执行过程中有 2 个重要的关键点, 一是用户需求的获取及权重分析, 作为数据前提是 QFD 能够执行的核心。传统的方法主要有德尔菲法 (专家评定法)、 α -方法和客户调查法, 而据研究表明在 QFD 执行的过程中应用这 3 种方法均存在一定的局限性, 其中德尔菲法的主观意识较强, α -方法缺乏对于定性问题的分析, 客户调查法由客户直接选择需求权重, 很难形成一致性结论^[11]。Richard E. Zultner^[12]在意识到这些传统的方法确定用户需求权重的不科学性之后, 在研究中通过建立用户需求层次结构将 AHP 应用到 QFD 中, 最终结果要比用传统的 1-5 标度得到的用户需求权重更加精确^[14], 也由此证明与传统的方法相比将 AHP 与 QFD 进行集成应用能够较好的保证与提升用户需求分析的准确性与客观性。二是解决“如何做”的问题, QFD 能够根据用户需求确定“做什么”, 但却不能解决后续“如何做”的问题, 而 TRIZ 则提供了一套解决困难问题的工具^[13], 能够使用相关的原理化解 QFD 执行过程中存在的物理以及技术冲突, 从而得到产品设计的创新解, 因此将 QFD 与 TRIZ 进行集成应用能够有效解决设计过程中“做什么”及“如何做”的问题。综上所述, 集成 AHP/QFD/TRIZ 的创新设计方法能够有效的用于产品设计开发。

2.3 集成设计方法的研究现状

相关学者对于集成设计方法进行了大量的研究, 其中在理论层面, 檀润华等^[13]提出了基于 QFD 及 TRIZ 的概念设计过程研究, 为设计过程中 QFD/TRIZ 的有机结合奠定了理论基础。刘鸿恩等^[14]对 QFD 理论与方法的研究进展进行了综述, 进一步指出了 QFD 与 AHP 以及 TRIZ 等理论相结合的研究方向。陈媛等^[11]对基于 QFD/AHP/TRIZ 的集成创新设计模式进行了研究, 并以智能卫浴产品的概念设计为例对其可行性与有效性进行了验证。在应用实践层面, 王南轶等^[15]运用 AHP/QFD/TRIZ 创新设计理论对可伸缩式餐桌进行了设计实践。吴安琪等^[16]通过构建集成 AHP/QFD/TRIZ 方法的创新设计流程对景区共享代步车进行了设计。苏建宁等^[17]基于 AHP/QFD/TRIZ 创新设计流程对玫瑰花蕾采摘机进行了设计。

2.4 集成 AHP/QFD/TRIZ 的智能门卫机器人设计流程

本文集成 AHP/QFD/TRIZ 设计理论对智能门卫机器人进行创新设计，根据用户需求分析的结果，首先应用 AHP 得到智能门卫机器人的用户需求综合权重，然后结合 QFD 理论将用户需求转化为产品的技术特性，并构建产品的质量屋，分析核心技术措施之间的相关关系，从而确定冲突类型，最后应用 TRIZ 理论对问题进行解决，得到智能门卫机器人设计的创新解。防疫门卫机器人设计流程见图 1。

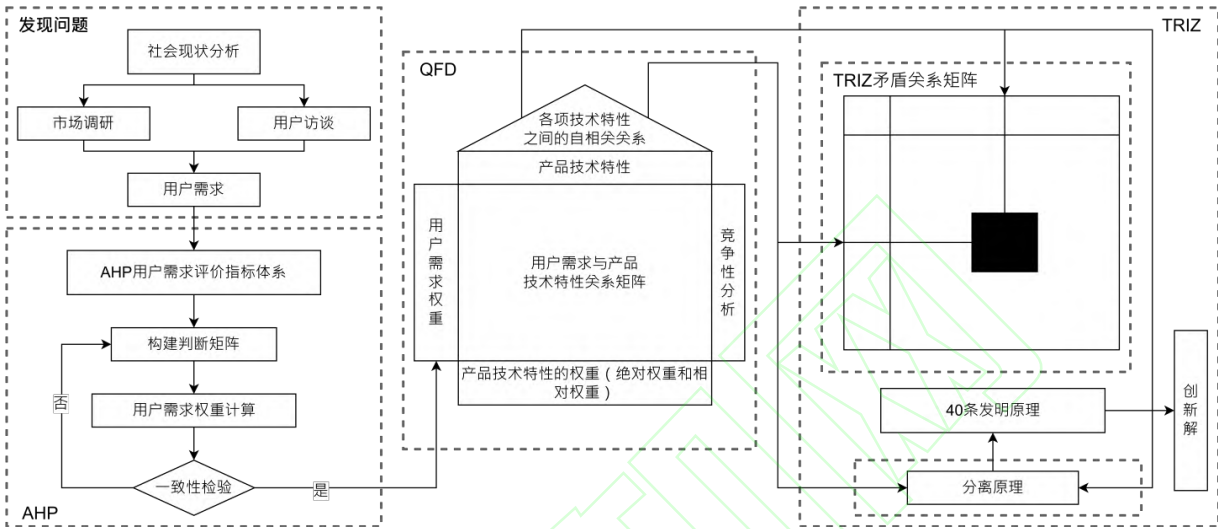


图 1 防疫门卫机器人设计流程
Fig.1 Design flow chart of epidemic prevention gate guard robot

3 智能门卫机器人的用户需求分析

3.1 用户需求层次展开

通过对管理工作人员和普通民众这两个用户群体进行问卷调研与访谈，并与专业设计人员进行讨论后，得到了用户对于智能门卫机器人的相关需求，并按照层次分析法中目标层、准则层、指标层的结构对用户需求进行分类整理^[18]，其中将第一层目标层即用户对智能门卫机器人的总需求标记为 A，第二层准则层从“基本功能”“造型结构”“人机交互”三个层面进行分类，并分别标记为 B1、B2、B3。第三层指标层则将用户需求的调研结果按照准则层的类别进行对应整理，并依次标记为 C1~C19。用户需求层次展开见图 2。

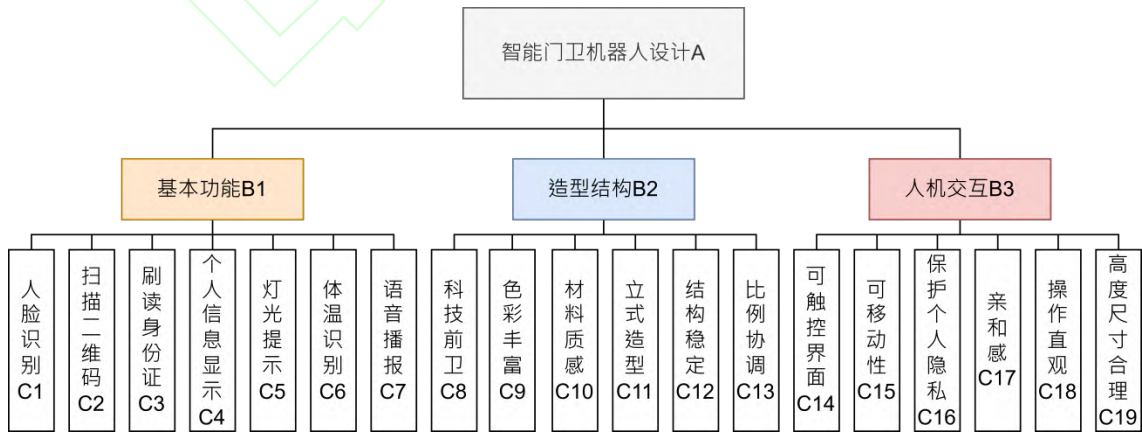


图 2 用户需求层次展开
Fig.2 User needs hierarchy unfolding

3.2 用户需求权重计算

鉴于用户需求层次展开的结果，运用 AHP 层次分析法对各个需求指标的权重进行计算，主要可以分为以下 3 个核心步骤^[19]：

1) 构建比较判断矩阵。将图 2 中准则层与指标层中的各项指标分别进行两两比较, 并采用九级标度法^[20]对其进行打分, 为了保证最终结果的客观性, 该过程咨询多名专家的意见, 其中包括 5 名产品设计专业的老师以及 3 名设计公司的资深产品设计师, 根据结果构建比较判断矩阵 A-(B1~B3)、B1-(C1~C7)、B2-(C8~C13)、B3-(C14~C19)。见表 1~表 4。

表 1 判断矩阵 A-(B1~B3)及其权重
Tab.1 The judgment matrix A-(B1~B3) and its weights

A	B1	B2	B3	M_i	$\overline{W_i}$	W_i
B1	1	3	2	6	1.8171	0.5396
B2	1/3	1	1/2	0.1667	0.5504	0.1634
B3	1/2	2	1	1	1	0.2970

表 2 判断矩阵 B1-(C1~C7)及其权重
Tab.2 The judgment matrix B1-(C1~C7) and its weights

B1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	M_i	$\overline{W_i}$	W_i
C1	1	3	2	5	2	3	5	900	2.6426	0.3106
C2	1/3	1	1/2	3	2	3	3	9	1.3687	0.1609
C3	1/2	2	1	3	3	3	3	81	1.8734	0.2202
C4	1/5	1/3	1/3	1	1/2	2	2	0.0444	0.6409	0.0753
C5	1/2	1/2	1/3	2	1	2	3	1	1	0.1175
C6	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1	3	0.0278	0.5993	0.0704
C7	1/5	1/3	1/3	1/2	1/3	1/3	1	0.0012	0.3826	0.0451

表 3 判断矩阵 B2-(C8~C13)及其权重
Tab.3 The judgment matrix B2-(C8~C13) and its weights

B2	C8	C9	C10	C11	C12	C13	M_i	$\overline{W_i}$	W_i
C8	1	2	1	1/2	1/3	1/2	0.1667	0.7418	0.1097
C9	1/2	1	1/2	1/2	1/5	1/2	0.0125	0.4817	0.0712
C10	1	2	1	3	1/2	1/2	1.5	1.0699	0.1582
C11	2	2	1/3	1	1/2	1/2	0.3333	0.8326	0.1231
C12	3	5	2	2	1	2	120	2.2209	0.3285
C13	2	2	2	2	1/2	1	8	1.4142	0.2092

表 4 判断矩阵 B3-(C14~C19)及其权重
Tab.4 The judgment matrix B3-(C14~C19) and its weights

B3	C14	C15	C16	C17	C18	C19	M_i	$\overline{W_i}$	W_i
C14	1	1/2	1/5	1/3	1/3	1/3	0.0037	0.3933	0.0558
C15	2	1	1/2	2	1/2	1/3	0.3333	0.8327	0.1183
C16	5	2	1	3	2	2	120	2.2209	0.3154
C17	3	1/2	1/3	1	1/2	1/3	0.0833	0.6608	0.0939
C18	3	2	1/2	2	1	1/2	3	1.2009	0.1706
C19	3	3	1/2	3	2	1	27	1.7321	0.2460

2) 用户需求权重计算。对上述各判断矩阵采用几何平均法、算数平均法等计算方法求出用户需求权

重 W_i ，计算结果见表 1~表 4，具体的计算公式如下：

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ji} \quad (i=1,2,3,\cdots,n) \tag{1}$$

式中： a_{ji} ——矩阵第 i 行第 j 列要素；
 n ——评价要素数量。

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i} \tag{2}$$

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=0}^n \bar{W}_i} \tag{3}$$

3) 一致性检验。通过求解判断矩阵的最大特征值 λ_{max} ，对各个判断矩阵进行一致性检验，且只有当式 (5) 所得的 $CR < 0.1$ 时，认为判断矩阵符合一致性要求，否则就要对判断矩阵进行调整直到其满足一致性检验为止^[7]。一致性检验中相关数据的计算公式如下：

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{4}$$

式中： λ_{max} ——判断矩阵最大特征值；
 n ——判断矩阵阶数。

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{5}$$

式中： CR ——一致性比率系数；
 CI ——判断矩阵不一致程度指标；
 RI ——平均随机一致性指标。

按照上述步骤计算后，得到相关数据见表 5，可见每个层级的 CR 值均小于 0.1，通过判断矩阵的一致性检验。

表 5 判断矩阵的一致性检验
Tab.5 Consistency test of judgment matrix

判断矩阵	n	λ_{max}	CI	CR	一致性检验
A-(B1~B3)	3	3.009	0.005	0.009	通过
B1-(C1~C7)	7	7.382	0.064	0.047	通过
B2-(C8~C13)	6	6.313	0.063	0.05	通过
B3-(C14~C19)	6	6.236	0.047	0.038	通过

将用户需求指标层中各项指标的单层权重值分别乘以相应的准则层的权重值，即可得到各项指标在整个需求体系中的综合权重值及其相应的排序，计算结果见表 6。

表 6 综合权重及其排序
Tab.6 Comprehensive weighting and its ranking

准则层	准则层权重	指标层	指标层权重	综合权重	排序
基本功能B1	0.5396	人脸识别C1	0.3106	0.1676	1
		扫描二维码C2	0.1609	0.0868	4
		刷读身份证C3	0.2202	0.1188	2

		个人信息显示C4	0.0753	0.0406	9
		灯光提示C5	0.1175	0.0634	6
		体温识别C6	0.0704	0.0379	10
		语音播报C7	0.0451	0.0243	15
造型结构B2	0.1634	科技前卫C8	0.1097	0.0179	17
		色彩丰富C9	0.0712	0.0116	19
		材料质感C10	0.1582	0.0258	14
		立式造型C11	0.1231	0.0201	16
		结构稳定C12	0.3285	0.0536	7
		比例协调C13	0.2092	0.0342	12
人机交互B3	0.2970	可触控界面C14	0.0558	0.0166	18
		可移动性C15	0.1183	0.0351	11
		保护个人隐私C16	0.3154	0.0937	3
		亲和感C17	0.0939	0.0279	13
		操作直观C18	0.1706	0.0506	8
		高度尺寸合理C19	0.2460	0.0731	5

4 智能门卫机器人的用户需求转化

通过使用 AHP 进行分析计算后得到智能门卫机器人的用户需求指标权重，然后利用 QFD 将用户需求转化为产品的技术特性，该过程的核心是质量屋（House of quality）的构建，质量屋（HOQ）是“顾客的声音”与“工程技术人员的声音”之间联系的“桥梁”^[21]，通过构建质量屋能够直观地表示出用户需求与产品技术特性之间的关系，并通过计算得出产品技术特性的绝对以及相对权重值，也能够确定各项技术特性之间的自相关关系，从而发现产品设计过程中可能存在的矛盾冲突，质量屋（HOQ）的构建过程如下：

1) 质量屋（HOQ）的左墙。将表 6 中的各项用户需求指标及其综合权重的计算结果导入质量屋，构建质量屋（HOQ）的左墙，见图 3。

2) 质量屋（HOQ）的天花板。根据满足不同的用户需求所需要的产品技术属性，分别对各项需求指标所对应的产品技术特性进行分析展开，见表 7。

表 7 用户需求与技术特性对应关系表

Tab.7 Correspondence table between user requirements and technical characteristics

用户需求类型	用户需求	技术特性
基本功能B1	人脸识别C1	智能摄像头 可触控显示屏 符合人机工学
	扫描二维码C2	智能识别模块 符合人机工学
	刷读身份证C3	磁卡感应模块 符合人机工学
	个人信息显示C4	可触控显示屏
	灯光提示C5	变色LED灯 结构合理
	体温识别C6	红外体温检测 可触控显示屏
	语音播报C7	音箱模块
	科技前卫C8	造型独特 色彩鲜明
	色彩丰富C9	色彩鲜明 表面电镀
	材料质感C10	表面电镀

用户需求类型	用户需求	技术特性
人机交互B3	立式造型C11	固定立体式 符合人机工学 结构合理
	结构稳定C12	固定立体式 大体积 结构合理
	比例协调C13	符合人机工学 结构合理
	可触控界面C14	可触控显示屏
	可移动性C15	底盘滑轮 操作把手 轻量化
	保护个人隐私C16	隐藏个人信息
	亲和感C17	语音交互 线条圆滑
	操作直观C18	模块化
	高度尺寸合理C19	符合人机工学 结构合理

对表 7 中产品技术特性展开的结果进行提炼总结，得到智能门卫机器人的产品技术特性汇总表，见表 8。将汇总结果导入质量屋，构建质量屋（HOQ）的天花板，见图 3。

表 8 产品技术特性汇总表
Tab.8 Product technical characteristics summary table

序号	产品技术特性
1	智能摄像头
2	可触控显示屏
3	符合人机工学
4	智能识别模块
5	磁卡感应模块
6	变色LED灯
7	结构合理
8	红外体温监测
9	音箱模块
10	造型独特
11	色彩鲜明
12	表面电镀
13	固定立体式
14	大体积
15	底盘滑轮
16	操作把手
17	轻量化
18	隐藏个人信息
19	语音交互
20	线条圆滑
21	模块化

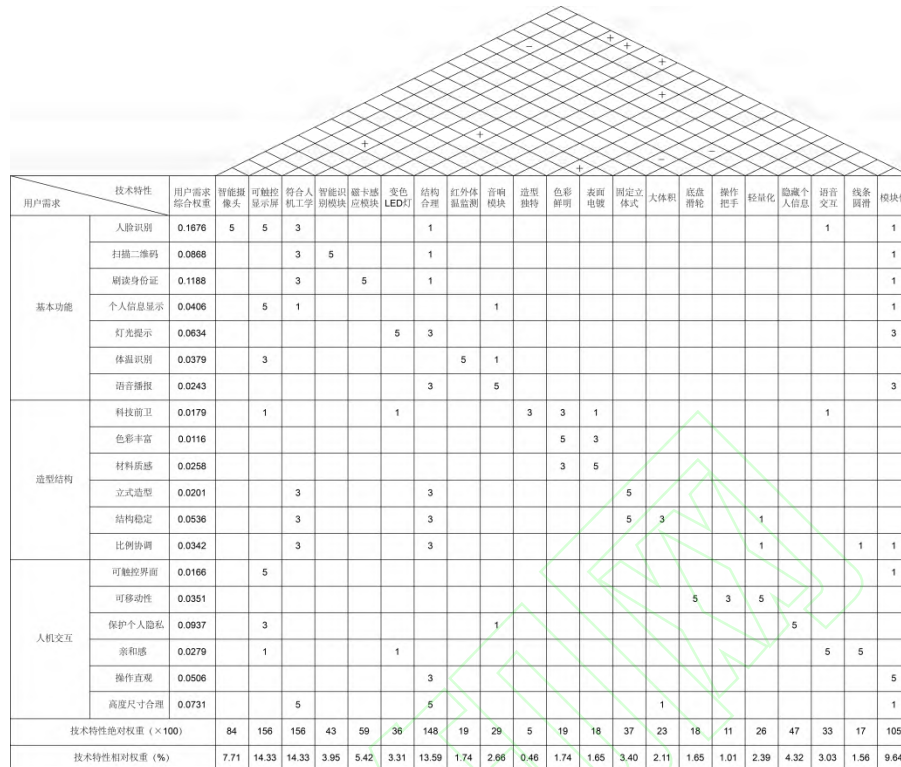


图3 质量屋模型
Fig.3 House of quality model

3) 质量屋 (HOQ) 的房间。对用户需求与产品技术特性之间的关联关系进行分析判定,并分别用 5、3、1、0 来对应两者之间的强、中、弱和不相关关系^[22],并将判定结果导入质量屋,构建质量屋 (HOQ) 的房间,其中空白处表示 0 相关,见图 3。

4) 质量屋 (HOQ) 的地下室。使用式 (7) 和式 (8) 进行计算分别得到产品技术特性的绝对权重以及相对权重,并将计算结果导入质量屋,构建质量屋 (HOQ) 的地下室,见图 3。具体计算公式如下:

$$W_j = \sum_{i=1}^q W_i P_{ij} \quad (6)$$

$$W_k = \frac{W_j}{\sum_{i=1}^q W_j} \quad (7)$$

式中: W_j ——质量特性绝对权重;

W_i ——用户需求权重;

P_{ij} ——相关性系数;

q ——用户需求总数;

W_k ——技术特性相对权重。

5) 质量屋 (HOQ) 的屋顶。质量屋的屋顶是用来确定各项技术特性之间的自相关关系,这种关系包括各项技术特性之间可能存在的相互阻碍、相互促进或者不相关等 3 种关系^[21],即当某一项技术特性发生变化时可能对另外的技术特性产生的 3 种影响效果,用“+”和“-”号来表示技术特性之间的相互促进和相互阻碍的关系,并将结果导入质量屋,构建质量屋 (HOQ) 的屋顶,其中空白处表示不相关关系,见图 3。

根据质量屋构建的结果可以看出,在智能门卫机器人的设计过程中应该对造型结构方面的因素作重点考虑,包括符合用户使用的人机工学以及合理的结构。其次在功能实现方面,可触控显示屏的合理使用是设计的重点。在设计形式方面,模块化设计是应该重点考虑的方式,因此最终智能门卫机器人的方

案设计需要围绕上述技术特性的相关要求展开。

5 冲突分析与解决

TRIZ 理论用于解决设计过程中存在的技术以及物理冲突。其中技术冲突是指对产品的一个方面进行改进时，会削弱另一方面的期望，物理冲突则是指产品的某一部分表现出两种相反的属性，应用 TRIZ 理论可以在消除冲突的过程中自然地产生新的概念^[10]。

5.1 冲突分析

TRIZ 理论认为，一个问题解决的困难程度，取决于对问题的描述或程式化方法，描述的越清楚，问题的解就越容易找到^[10]。首先通过对质量屋（HOQ）屋顶的构建，得到了智能门卫机器人设计过程中可能存在的 3 对冲突，分别描述为：

1) 可触控显示屏和隐藏个人信息之间的冲突。对于管理人员来说，智能门卫机器人主要用于对民众在进入公共场所时进行身份核验、访客登记等进出管理工作，因此通过显示屏来显示有关个人信息是必需的，但是对于普通民众来说，则不希望将个人信息暴露于大众的视野之下。

2) 固定立体式和底盘滑轮之间的冲突。固定立体式可以提升产品在公共场所使用时的稳定性，但同时产品也要能够根据实际情况通过滑轮调整到合适的位置。

3) 大体积和轻量化之间的冲突。大体积能够提升产品的稳定性，同时也要保证产品的轻量化来满足必要的移动。

通过对冲突的分析可知，其中冲突（1）、（2）属于物理冲突，冲突（3）属于技术冲突。针对物理冲突，TRIZ 提供了 4 条分离原理用于求解，即从时间上分离、从空间上分离、从整体与部分上分离以及在同一种物质中相反的特性共存^[10,23]，根据实际情况选择合适的分离原理解决冲突，结果见表 9。针对技术冲突，TRIZ 提供了 39 个标准参数，任何一个技术冲突都可以用其中一对参数进行描述，而且任何一个被描述的技术冲突都存在创新解^[10]，求解的方法被总结归纳为 40 条发明原理，对冲突（3）中的 2 个对象使用 TRIZ 的标准参数进行描述，然后对应矛盾矩阵表^[23]查询推荐的发明原理。冲突分析及解决原理见表 9。

表 9 冲突分析及解决原理
Tab.9 Conflict analysis and resolution principles

冲突	冲突类型	改善参数	恶化参数	推荐发明/分离原理	原理说明
可触控显示屏-隐藏个人信息	物理冲突	——	——	在同一种物质中相反的特性共存	物质在特定的条件下表现为唯一的特性，在另一种条件下表现为另一种特性
固定立体式-底盘滑轮	物理冲突	——	——	从时间上分离相反的特性	在一段时间内物体表现为一种特性，在另一时间段内表现为另一种特性
大体积-轻量化	技术冲突	运动物体的体积	运动物体的重量	2,26,29,40	2: 抽取原理 26: 复制原理 29: 气压和液压结构原理 40: 复合材料原理

5.2 冲突解决

根据表 9 中推荐的 TRIZ 原理对 3 对冲突问题进行解决，从而得到针对智能门卫机器人设计的创新解，为最终的方案设计提供参考。

1) 使用 2 种相反的特性共存的分离原理来解决可触控显示屏和隐藏个人信息之间的物理冲突，即在不同的条件下，物质表现为两种不同的特性，因此针对冲突的中心问题——个人信息，冲突的 2 种特性——隐藏和显示，对两种特性所发生的场景以及条件进行定义，即当在管理人员的条件下，个人信息处于显示的特性，当在普通民众的条件下时，则处于隐藏的特性，将两种场景应用于产品设计中，则可以得到智能门卫机器人设计在显示方式上的创新解。

2) 使用时间分离原理来解决固定立体式和底盘滑轮之间的物理冲突,即物体在不同的时间段内表现为不同的特性,因此对产品 2 种不同的使用场景进行定义,当日常进行工作时,需要通过固定保证其稳定性,当需要通过移动来调整位置时,则需要用到底盘的滑轮。根据产品在两段时间内不同的使用要求,来决定产品在两种不同的形式和状态之间进行切换,可以得到智能门卫机器人设计在移动方式上的创新解。

3) 针对大体积-轻量化这对技术冲突,在推荐的发明原理 2、26、29、40 中根据实际情况选择使用 2 (抽取原理) 以及 40 (复合材料原理) 对冲突进行解决,其中抽取原理包括从对象中提取“干扰”的部分或者只提取必要部分,在进行智能门卫机器人设计时可以运用该原理对产品只保留必要的部分,而复合材料原理则要求用复合材料取代一些同质材料,都能够在不改变体积的情况下减轻产品的重量,因此结合两种原理,可以得到智能门卫机器人设计在造型结构上的创新解。

6 设计实践

根据上述对用户需求和产品技术特性分析计算以及应用 TRIZ 原理解决冲突的结果,对智能门卫机器人在人机交互以及造型结构等方面进行创新设计,并导出最终的设计方案,见图 4。



图 4 智能门卫机器人设计方案效果图
Fig.4 Intelligent gatekeeper robot design scheme effect

6.1 智能门卫机器人设计的创新解

根据 TRIZ 原理解决冲突的结果,得到智能门卫机器人设计在显示方式、移动方式、造型结构上的创新解。

1) 显示方式。根据冲突(1)中应用 TRIZ 原理所得到的创新解,在智能门卫机器人的设计中,采用了针对居民以及工作人员两个方向的功能模块和信息显示屏,以满足双方不同的使用需求。而且考虑到 2 个用户群体在产品使用时的交互方式不同,因此将面向普通用户的信息显示屏进行了加高处理。智能门卫机器人使用场景见图 5。



图 5 智能门卫机器人使用场景
Fig.5 Intelligent gatekeeper robot use scenario diagram

同时,为了适应不同场景下 2 个用户群体之间的位置关系,对机器人的主体部分进行了可旋转式的

结构设计，显示屏则使用了可旋转的支架结构用于调整不同的使用角度。旋转及支架结构演示见图 6。



图 6 旋转及支架结构演示
Fig.6 Rotation and bracket structure demonstration

2) 移动方式。根据冲突(2)中应用 TRIZ 原理所得到的创新解，对机器人的底座进行了可升降式的结构设计，以满足产品两种不同的使用状态，见图 7。即当产品移动到合适的位置可以投入使用时，机器人的主体会整体下移直至触及地面达到稳定状态，当产品需要通过移动调整位置时，主体则会上升露出位于底座内部的滑轮以便于移动。

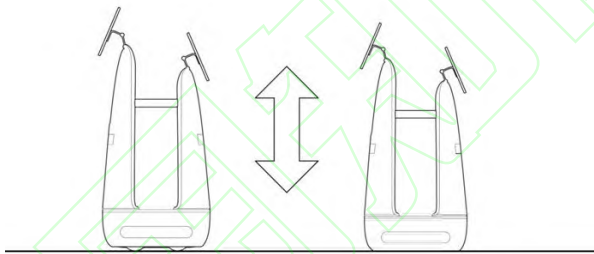


图 7 升降结构演示
Fig.7 Demonstration of lifting structure

3) 造型结构。根据冲突(3)中应用 TRIZ 原理所得到的创新解，对防疫门卫机器人的中间部分采用镂空处理，且中间加固环形连接结构，既可以作为旋转支架，也能够增加结构稳定性。同时内侧部分采用软性复合材料，从而降低产品整体重量。

6.2 智能门卫机器人的核心系统设计

根据用户需求和产品技术特性分析计算的结果，对智能门卫机器人的基本功能属性进行了设计，对产品的显示屏、二维码识别、磁卡感应 3 个基本功能模块进行了合理的布局，以应对不同用户群体的使用需求，用户可自行选择最便捷的方式进行身份验证，见图 8。



图 8 产品使用方式说明
Fig.8 Illustration of product use

基于上述智能门卫机器人不同的使用方式，结合当下的现实背景，对智能门卫机器人的智能防疫和

智能安保两大核心功能系统进行了设计。

1) 智能防疫。经历本次新冠肺炎疫情的严酷考验,让人们深刻地认识到社区作为控制疫情的第一道防线,其进出的流动管理对于抗击疫情的重要性,曾经“扫码出行”成为人们生活的新常态,如今根据新冠肺炎疫情防控经验,门卫机器人的智能防疫系统设计能够帮助防疫人员对公共场所的出入人员进行防疫信息查验,从而尽可能地降低疫情大规模爆发的风险,并且通过访客记录来帮助后续可能的流调工作顺利进行。系统主要通过图 8 中无接触式的身份验证方式,从而通过大数据一键调取个人防疫信息,且产品采用醒目的 LED 提示灯可以通过显示对应健康码的绿、黄、红三色以及相应的语音播报来提示工作人员当前用户的防疫信息状态,见图 9。



图 9 灯光变化演示图
Fig.9 Light change demonstration chart

2) 智能安保。当前传统物业管理行业存在来访手工登记繁琐、进出管理工作重复以及管理方式落后等问题,而针对社区内的医疗机构、写字楼、事业单位、校园、工厂以及社区公寓等场所开发的门卫机器人智能安保系统能够有效提升社区的物业管理水平,通过图 8 中无接触式的身份验证方式以及智能人机交互技术,实现人与机器人之间的视频互动、语音互动,能够高效且智能的辅助完成人员身份验证、出入通行管理、人员到访留痕、考勤签到、前台接待以及服务咨询等工作,从而构建人机结合的高标准智能化安保体系,为物业管理注入新的活力。

7 结语

研究针对新形势下公共场所出入的物业管理工作,集成 AHP/QFD/TRIZ 设计理论对智能门卫机器人进行创新设计,从用户需求出发,分析了智能门卫机器人的产品设计属性,并通过解决冲突得到产品设计的创新解,使设计出的产品充分满足管理人员以及普通民众的使用需求,助力智慧社区建设以及智慧物业管理工作。该研究丰富了智慧社区服务机器人的研究内容,在一定程度上拓展了社区机器人的应用范围,然而在复杂的社区环境下,针对门卫机器人面对复杂场景时的智能判断以及适应能力的研究仍待进一步完善。

参考文献:

- [1] 杨帅. 面向智慧社区的户外智能消防机器人设计[J]. 工业设计, 2022(12): 100-102.
YANG Shuai. Design of outdoor intelligent fire-fighting robot for intelligent community[J]. Industrial Design, 2022(12):100-102.
- [2] 周萍. 防疫机器人在智慧社区的配送路径规划研究[J]. 工程与建设, 2020, 34(5): 810-812+819.
ZHOU Ping. Research on distribution path planning of prevention robots in smart communities[J]. Engineering and Construction, 2020, 34(5): 810-812+819.
- [3] 胡凯程, 林立, 谭青青. 面向社区的智能无人快递小车(机器人)创新设计研究[J]. 信息系统工程, 2018(9): 45-46.
HU Kai-Cheng, LIN Li, TAN Qing-qing. Innovative design of community-oriented intelligent unmanned delivery cart (robot)[J]. China CIO News, 2018(9): 45-46.
- [4] 何秋, 何瑛, 李贵妃, 等. 社区老年人对陪护机器人使用意愿的质性研究[J]. 护理学报, 2022, 29(19): 6-10.
HE Qiu, He Ying, LI Gui-fei, et al. Willingness to Accompanying Robot in the Elderly in Community: A Qualitative Study[J]. Journal of Nursing(China), 2022, 29(19): 6-10.
- [5] 康辉, 赵凯勋. 基于层次分析法的汽车设计方案评价模型[J]. 包装工程, 2014, 35(22): 53-57.

- KANG Hui, ZHAO Kai-xun. Evaluation Model of Automobile Design Scheme Based on Analytic Hierarchy Process[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(22): 53-57.
- [6] 谭雨婕, 杨昕妍, 张仲凤, 等. 基于 AHP-TOPSIS 法的儿童卧房家具设计研究[J/OL]. 林产工业: 1-6[2023-02-08].
- TAN Yu-jie, YANG Xin-yan, ZHANG Zhong-feng, et al. Research on the Design of Children's Bedroom Furniture Based on AHP-TOPSIS Method[J/OL]. China Forest Products Industry: 1-6[2023-02-08].
- [7] 徐晓敏. 层次分析法的运用[J]. 统计与决策, 2008(1): 156-158.
- XU Xiao-min. The use of hierarchical analysis[J]. Statistics & Decision, 2008(1): 156-158.
- [8] 檀润华, 王庆禹. 产品设计过程模型、策略与方法综述[J]. 机械设计, 2000(11): 1-4+49.
- TAN Run-hua, WANG Qing-yu. Process models strategies and methods for product design[J]. Journal of Machine Design, 2000(11): 1-4+49.
- [9] 傅雷, 石畅, 王南轶. 基于 AHP/QFD/TRIZ 集成理论的书柜设计方法[J/OL]. 包装工程: 1-14 [2022-11-25].
- FU Lei, SHI Chang, WANG Nan-yi. Bookcase Design Method Based on AHP/QFD/TRIZ Integration Theory[J/OL]. Packaging Engineering: 1-14[2022-11-25].
- [10] 檀润华, 王庆禹, 苑彩云, 等. 发明问题解决理论:TRIZ——TRIZ 过程、工具及发展趋势[J]. 机械设计, 2001(7): 7-12+53.
- TAN Run-hua, WANG Qing-yu, YUAN Cai-yun, et al. Theory for solving the inventive problems (TRIZ) ——The process, tools and developing trends of TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2001(7): 7-12+53.
- [11] 陈媛, 宋端树, 辜俊丽. 集成 QFD/TRIZ/AHP 的产品创新设计模式研究[J]. 包装工程, 2017, 38(20): 150-155.
- CHEN Yuan, SONG Duan-shu, GU Jun-li. Product Innovation Design Method Integrated with QFD/TRIZ/AHP[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(20): 150-155.
- [12] Richard E. Zultner. Priorities: The Analytic Hierarchy Process in QFD. The Fifth Symposium on QFD, 1993.
- [13] 檀润华, 马建红, 张换高, 等. 基于 QFD 及 TRIZ 的概念设计过程研究[J]. 机械设计, 2002(9): 1-4.
- TAN Run-hua, MA Jian-hong, ZHANG Huan-gao, et al. Study on the conceptual design process based on QFD and TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2002(9): 1-4.
- [14] 刘鸿恩, 张列平. 质量功能展开(QFD)理论与方法研究进展综述[J]. 系统工程, 2000(2): 1-6.
- LIU Hong-en, ZHANG Lie-ping. Quality Function Deployment Theories and Methods—Review on Research Progress[J]. Systems Engineering, 2000(2): 1-6.
- [15] 王南轶, 石畅, 陈旭辉, 等. 基于 AHP/QFD/TRIZ 理论的可伸缩式餐桌设计[J/OL]. 包装工程: 1-16 [2022-10-07].
- WANG Nan-yi, SHI Chang, CHEN Xu-hui, et al. Design of retractable dining table based on AHP/QFD/TRIZ theory[J/OL]. Packaging Engineering: 1-16[2022-10-07].
- [16] 吴安琪, 韩宇翊, 叶文涛, 等. 基于 AHP/QFD/TRIZ 的景区共享代步车创新设计研究[J]. 包装工程, 2022, 43(S1): 151-160.
- WU An-qi, HAN Yu-hong, YE Wen-tao, et al. AHP/QFD/TRIZ based scenic area shared mobility scooter innovation design research[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(S1): 151-160.
- [17] 苏建宁, 魏晋. 基于 AHP/QFD/TRIZ 的玫瑰花蕾采摘机设计[J]. 机械设计, 2020, 37(8): 121-126.
- SU Jian-ning, WEI Jin. Design of rose buds picking machine based on AHP/QFD/TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2020, 37(8): 121-126.
- [18] 侯建军, 张玉春, 吴丽. 基于 AHP 层次分析法的智能婴儿手推车设计研究[J]. 包装工程, 2022, 43(2):50-55.
- HOU Jian-jun, ZHANG Yu-chun, WU Li. The Research and Design of Smart Baby Stroller Based on Analytic Hierarchy Process[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(2): 50-55.
- [19] 朱意灏, 徐舒颜, 吴剑锋. 基于层次分析法的代驾服务体验评价模型研究[J]. 包装工程, 2020, 41(14): 112-117+123.
- ZHU Yi-hao, XU Shu-yan, WU Jian-feng. Evaluation Model of Designated Driving Service Experience Based on AHP[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(14): 112-117+123.
- [20] 杨静. 基于 KANO-AHP 模型的陕西汉唐旅游纪念品需求指标评价[J]. 包装工程, 2017,38(4):239-247.
- YANG Jing. Evaluation on Demand Indexes of Tourist Souvenirs at Shaanxi Han Tang Scenic Spot Based on KANO-AHP Model[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(4): 239-247.
- [21] 李延来, 唐加福, 姚建明, 等. 质量屋构建的研究进展[J]. 机械工程学报, 2009, 45(3): 57-70.

LI Yan-lai, TANG Jia-fu, YAO Jian-ming, et al. Progress of Researches on Building House of Quality[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45(3): 57-70.

[22] 李晓杰, 梁健, 李海泉. 基于 AHP/QFD 与 TRIZ 的地震救援机器人设计[J]. 机械设计, 2021, 38(11): 121-128.

LI Xiao-jie, LIANG Jian, LI Hai-quan. Design of earthquake rescue robot based on AHP/QFD and TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2021, 38(11): 121-128.

[23] G S Altshuller. The innovation algorithm, TRIZ, systematic innovation and technical creativity[M]. Worcester: Technical Innovation Center, 1999.

作者简介: 于梦豪 (1999-), 男, 硕士生, 主攻用户体验和交互设计。

通信作者: 崔俊杰 (1981-), 男, 硕士, 讲师, 主要研究方向为工业设计、体验设计。

