

基于 U-TRIZ 理论的产品概念设计 SAFC 模型分析

李兰友^{1,2}, 印志鸿¹, 陆金桂¹, 李娜², 张建德²

(1.南京工业大学, 南京 211800; 2.南京工程学院, 南京 211167)

摘要: **目的** 针对经典 TRIZ 体系过于庞大, 解题工具之间缺乏集成联系, 以及难以掌握和运用等现状, 通过运用 U-TRIZ 理论以功能为导向, 以属性为核心, 将因果分析模型和功能分析模型通过物质属性有机地集成, 构建的物质—属性—功能—因果 (SAFC) 分析模型将有效解决上述问题。**方法** 分析 SAFC 模型在产品概念设计过程中的应用现状和研究进展, 综述 SAFC 分析模型在矛盾类型问题求解、置换型问题求解、内调型问题求解的解题方法, 给出 SAFC 分析模型的基本构成、功能因果链绘制图和差异性特征展示表, 阐述 U-TRIZ 理论的解题流程总框架。**结果** SAFC 模型是一个从物场模型到功能模型演化而成的实用问题分析工具, 有多种问题解题模式, 能有效解决各种问题。**结论** 以智能手机概要设计为例, 验证了 SAFC 分析模型的相关解题方法, 该研究将为手机企业寻找创新方向和解决工程难题, 提供一种可供借鉴的解决方案。

关键词: TRIZ; U-TRIZ; SAFC 模型; 产品概念设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)20-0124-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.20.020

SAFC Model Analysis of Product Conceptual Design Based on U-TRIZ Theory

LI Lan-you^{1,2}, YIN Zhi-hong¹, LU Jin-gui¹, LI Na², ZHANG Jian-de²

(1.Nanjing Tech University, Nanjing 211800, China; 2.Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

ABSTRACT: In view of that the classical TRIZ system is too large and the solving tool is difficult to master and apply due to lack of integration, the U-TRIZ theory is used to organically integrate the causal analysis model and the functional analysis model through material attributes with function as orientation and attribute as core, and then the constructed material-attribute-function-causal (SAFC) analysis model will effectively solve the above problems. The current application status and research improvement of SAFC analysis model in product conceptual design were analyzed. The solution methods of SAFC analysis model in contradiction type problem solving, displacement type problem solving and internal adjustment type problem solving were summarized. The basic composition, causal function chain drawing diagram and difference characteristic display table of SAFC analysis model were given and the general framework of U-TRIZ theory solution process was explained. SAFC model was a practical problem analysis tool evolved from physical field model to functional model. There were many kinds of problem-solving modes, which could effectively solve various problems. Finally, taking the conceptual design of smartphone as an example, the relevant methods of SAFC analysis model are validated. This study will provide a methodological guidance solution for mobile phone companies to find a breakthrough direction in product innovation and engineering problems.

KEY WORDS: TRIZ; U-TRIZ; SAFC model; product conceptual design

收稿日期: 2020-06-01

基金项目: 江苏省高校自然科学基金面上项目 (15KJB520014); 江苏省自然科学基金青年基金项目 (BK20150731); 南京工程学院校级科研基金项目资助 (QKJA201607)

作者简介: 李兰友 (1983—), 男, 河南人, 南京工业大学博士生, 南京工程学院高级工程师, 主要研究方向为智能设计理论方法。

通信作者: 陆金桂 (1966—), 男, 江苏人, 博士, 南京工业大学教授, 主要研究方向为智能优化设计。

发明问题解决理论（简称 TRIZ）^[1]，是前苏联发明家阿奇舒勒创立的最有吸引力的推动科技进步和产品创新的理论方法之一，被国内学者认为是可以和达尔文生物进化论，以及马克思人类社会进化论并肩的三大进化理论之一^[2]。经典 TRIZ 理论的经典之处在于它认为技术系统是不断演化的^[3]，因此经典 TRIZ 理论的改革从未停歇，以国内学者张武城、赵敏等人^[4]组成的 TRIZ 专家团队提出的统一 TRIZ（简称 U-TRIZ）理论，以及构建的“物质—属性—功能—因果”（Substance-Attribute-Function-Causal Result，简称 SAFC）分析模型，开启了中国人在国际 TRIZ 理论界创新的新篇章。

经典 TRIZ 理论主要有以下两个方面的问题：第一，经典 TRIZ 体系过于庞大，解题工具之间缺乏集成联系，以至于难以掌握和运用^[5]；第二，经典 TRIZ 主要用于工程领域，对如管理领域等非工程领域的应用较少，另外即使是工程领域，由于受时代所限，对新型的如信息技术、生物技术和环境工程等工程领域问题有待进一步研究开拓^[6]。为了有效地解决第一个问题，以学者张武城^[7]为首的团队在深入思考因果分析模型和功能分析模型的基础上，发现可以将因果分析模型拓展为因果属性分析模型，将功能分析模型拓展为功能属性分析模型，而两者的共同点交汇在了物质属性上。由此，看似两种截然不同的分析工具，存在共同点，即相互作用的要素均指向物质属性。因此，在属性的基础上，将两种不同的分析工具整合为了一个综合性、功能更强大的分析与解题工具，这就是 SAFC 分析模型。

自 SAFC 分析模型被提出以来才刚刚过去四年时间，虽然提出的时间比较短，但是国内已有学者应用 SAFC 模型解决实际问题的报道。朱芳芳、赵锋等人^[8]利用 U-TRIZ 理论中的 SAFC 模型对国内家庭地震应急产品和日用产品进行整合和设计，发明了壁灯报警装置和镜面报警装置等。刘燕、赵锋等人^[9]利用 U-TRIZ 理论中的 SAFC 模型分析出了应急供水设施中存在的矛盾，给出了一个“平灾结合”理念下的城市公共空间应急供水设施设计方法。闫洪波、曹国忠等人^[10]针对经典 TRIZ 体系中静态的使用因果与功能模型等分析工具无法高效地解决工程问题，参考 U-TRIZ 理论给出了一个基于三轴分析和功能模型相融合的创新分析工具。不过，如何高效地集成融合常见的经典分析模型，而融合集成的 SAFC 分析模型的差异化特征有哪些，SAFC 分析模型的解题应用模式如何应用，这些问题上述文献中鲜有提及。这就需要剖析和阐述 SAFC 分析模型的理论体系，识别隐藏在工程问题背后的根本原因，以便熟练掌握这个新的分析工具，以达到快捷、严谨、准确的问题分析效果。

1 U-TRIZ 理论特征

U-TRIZ 中的“U”是“Unified”的缩写，顾名

思义就是统一 TRIZ。统一 TRIZ 被定位为现代 TRIZ 理论的一个分支理论。有以下特点：一是以功能为导向，以属性为核心，物质与功能通过属性联系，对物质属性的认知和操作是 U-TRIZ 的重点，这突破升华了经典 TRIZ 理论；二是不强调动作，而是强调物质之间的相互作用，两个物质的属性相互作用，形成一个科学效应，施加在作用对象上，便形成了功能；三是认为万物其内皆有场，万物其外皆有场，物场是物质属性的两个方面，相互依存，密不可分；四是建立了完善的功能属性效应知识库；五是构建了一个现代 TRIZ 家族中全新的分析和解题工具——SAFC 模型；六是给出了一个基于 SAFC 模型的通用解题流程框架^[7]。U-TRIZ 解题流程见图 1。

解题流程大致分为五个阶段，从问题识别、问题表征、问题分析、问题解决到概念验证。问题识别阶段无需 TRIZ 概念，只需要技术人员准确无误地表达出这个宏观技术问题，满足 5W1H（What, When, Where, Who, Why, How）的要求即可。问题表征阶段开始使用 TRIZ 概念对宏观技术问题进行表征，可以通过资源分析、进化趋势分析、因果分析等流程给出问题的理想化最终结果（IFR, Ideal Final Result）。问题分析阶段，U-TRIZ 理论用“相互作用形式”统一集成各种分析工具，并把功能分析和物场分析合二为一，同时把流分析单列，作为功能分析的一种特定形式，通过识别问题模型的“相互作用形式”，迭代收敛问题范围，进而找到最小问题解，如果存在有用功能和有害功能共存的情况，则可以发现物理矛盾点。问题解决阶段，需要进行 SAFC 模型分析，进一步收敛问题，找到合适的解题工具，获得概念方案。概念验证阶段，可通过感性工学理论^[11]、聚类理论及层次分析法^[12-13]等各种评价方法筛选和确定解决方案，并对可行的方案优化后进行专利申请和生产实施。

2 SAFC 分析模型

2.1 SAFC 分析模型基本构成

SAFC 分析模型是“技术系统物质、属性、功能、因果分析模型”的简称，其使用的各种符号的中英文对照表请参考文献[14]。

物质一般指静止质量不为零的实体，也常用来泛称所有组成可观测物体的成分。

场既用来描述两个非接触物体之间的动作，也用来描述一个物体内的条件的动作。场的种类有应力场、热场、磁场等。场可以改变一个放在场里的物体属性的度量值。

功能一般指两个物质的属性发生相互作用的结果，功能上的“有用”和“有害”的属性是相对的概念，并非绝对概念，由视时空、量值、对象或关系等条件而确定。例如广场舞音乐对锻炼的群体来说是愉悦的背景音乐，是有用功能，而对于周边需要安静的

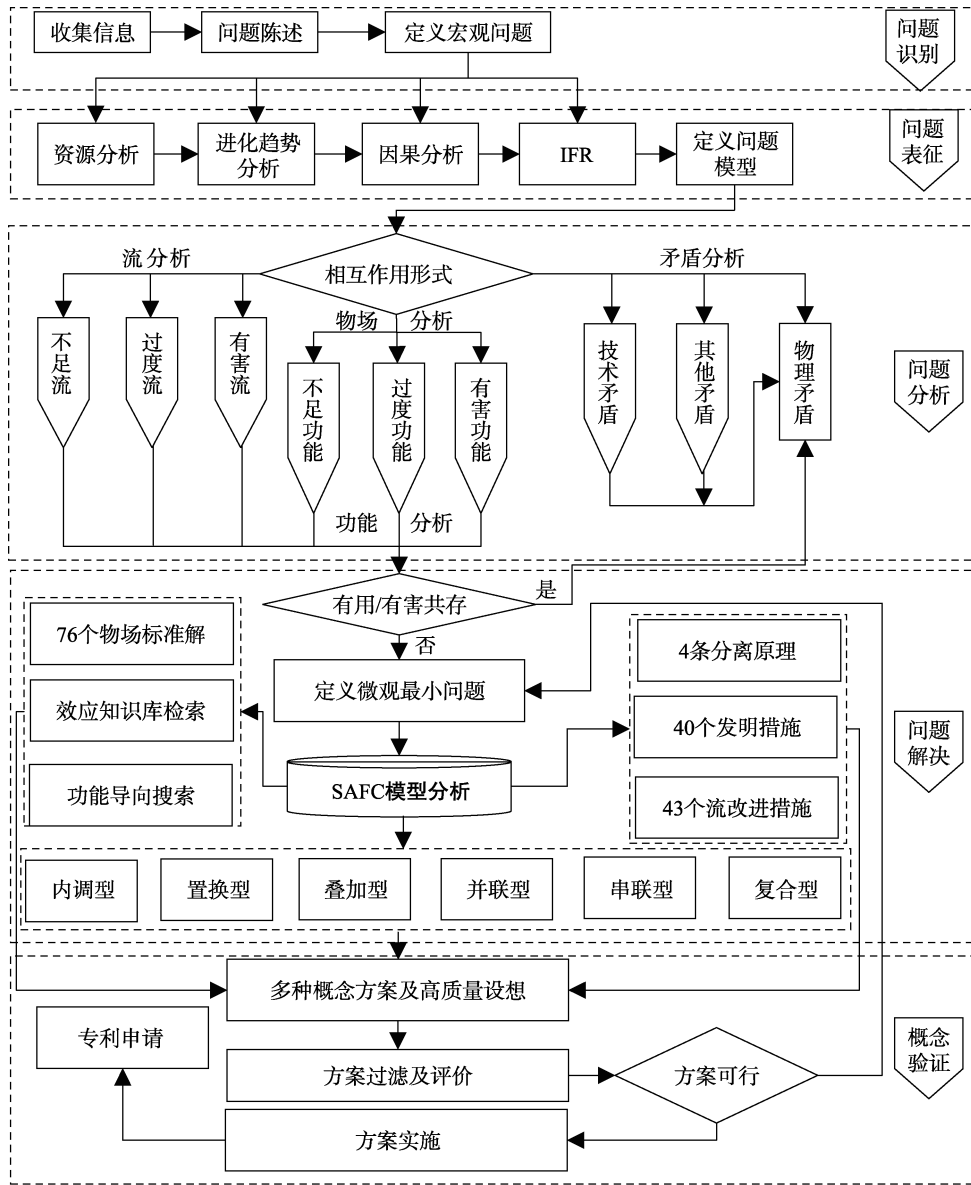


图1 U-TRIZ 解题流程
Fig.1 Flow of problem solving by U-TRIZ

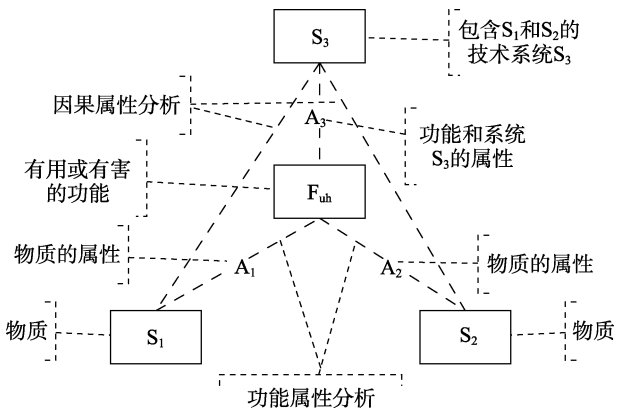


图2 SAFC 模型基本构成
Fig.2 Basic composition of SAFC model

居民来说简直就是噪音，是有害功能。每个技术系统的问题发生一定存在某些原因，而由原因导致的每一

个结果也需要继续寻找其原因，有因必有果，有果必有因。

属性是实现功能的基本要素，充分利用属性，可以构建或调节操作任何技术系统的功能。U-TRIZ 理论认为物质与功能就是通过属性来联系的，对属性的认知和操作是该理论的本质特点。

物质 S_1 和 S_2 具有各自的属性 A_1 和 A_2 ，令 S_1 为主体， S_2 为客体，则 F_{uh} 就是 A_1 和 A_2 相互融合的功能，衍生出的功能为 S_3 。 S_1 与 S_3 的连线及 S_2 与 S_3 的连线是因果分析线， S_1 与 S_2 分别与 F_{uh} 的连线为功能分析线，最终形成一个标准的 SAFC 模型。SAFC 模型基本构成见图 2^[15]。

2.2 SAFC 分析模型的功能因果链绘制方法

由于每一个 SAFC 三角模型都是一个技术系统中的某一个实现功能的环节，都是一层因果关系，所

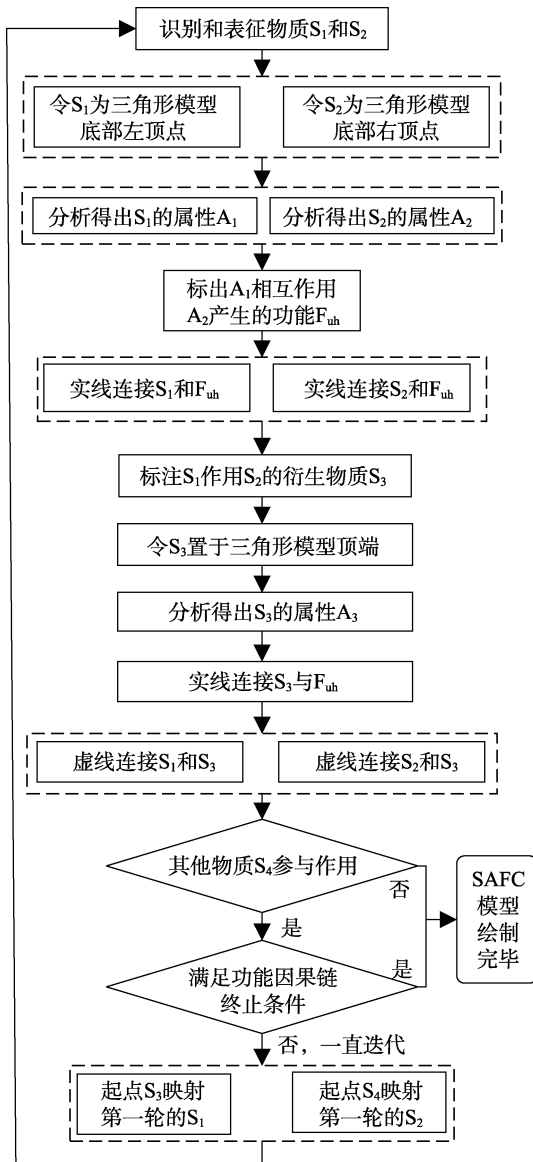


图 3 SAFC 模型绘制步骤
Fig.3 Drawing step of SAFC model

以多个 SAFC 模型链接起来,就形成了 SAFC 的功能因果链。它可以从下往上绘制,也可以从上往下绘制。从下往上绘制的过程,是由因及果的分析过程,是构建新功能、产生新物质的过程。从上往下绘制的过程,是由果及因的过程,顶端产品是最终产品,其下方的属性就是具体的客户需求,所连接的功能就是最终产品的功能,以此为出发点,一层一层向下分解,就可以得到所需功能的一个技术功能方案。SAFC 模型绘制步骤见图 3。因果是相互依存,相互链接的。这一轮 SAFC 模型的果,正是下一轮 SAFC 模型的因,一个结果的产生,意味着一轮相互作用的结束,也意味着新一轮相互作用的开始。SAFC 模型就能形成 SAFC 的功能因果链^[7]。

2.3 SAFC 分析模型的差异化特征

SAFC 模型的具有三个主要特征:第一,它是由两种不同的主要分析工具(因果分析模型和功能分析模型)组合而成的高效的措施联合体,并将经典 TRIZ 中的物场、功能、属性和因果等创新要素集成在了一起;第二,SAFC 模型是一个从物场模型到功能模型演化而成的实用问题分析工具,是在物场模型的基础上创立的,既有区别又有联系,有多种问题解题模式,能有效解决各种问题;第三,SAFC 模型一次分析可以得出多种结果,而且可以边分析,边解决问题。SAFC 分析模型差异化特征见表 1。

3 应用实例

3.1 SAFC 模型矛盾分析实例

以智能手机为例,阐述 SAFC 模型的技术矛盾与物理矛盾的区别与联系。

目前智能手机的卖点体现在触控性、表现性、易用性等方面的功能属性上,外观颜值已成为手机企业

表 1 SAFC 分析模型差异化特征
Tab.1 Difference characteristics table of SAFC analysis model

比较点	经典 TRIZ 体系 (经典模型)	U-TRIZ 体系 (SAFC 模型)
作用后的结果	物场模型无体现	给出了两种物质作用后的结果物质 S_3
作用后产生的功能	物场模型无体现	给出了相互作用形成的可能有用或有害的功能 F_{uh}
作用中的因果关系	物场模型无体现	给出了相互作用的因果关系, S_1 和 S_2 是因, S_3 是果
技术矛盾的表达方式	当一个参数趋于改善时,对应的另一参数趋于恶化,表述了两个参数在改善和恶化上的相互制约关系	以图示的方法给出了参数的积极性和消极性,增强了参数识别性
技术矛盾的构成范围	主要由通用工程参数构成技术矛盾	在通用工程参数的基础上,增加了一种以不同属性的功能之间构成的技术矛盾这一矛盾构成形式
矛盾分析结果	经典模型中矛盾分析的结果是在问题再定义的过程中找到微观层面的物理矛盾	矛盾属性分析的结果是找到由属性所构成的,反映问题本质的物理矛盾
模型的表征意义	物场模型表征了两个物质相互作用的一轮过程	SAFC 模型也表征了两个物质相互作用的一轮过程

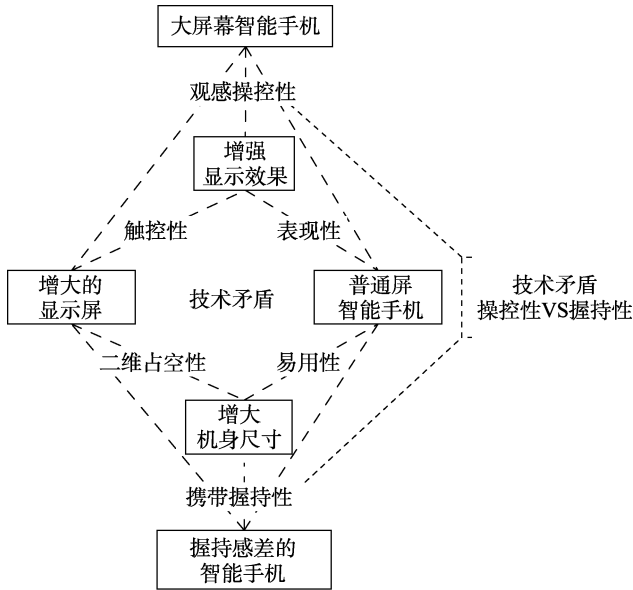


图4 智能手机屏幕技术矛盾分析
Fig.4 Technical contradictions of smart phone screen

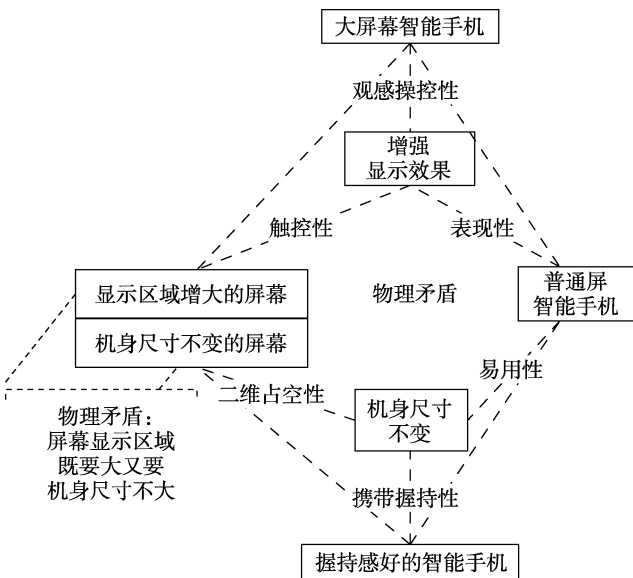


图5 智能手机屏幕物理矛盾分析
Fig.5 Physical contradictions of smart phone screen

概念设计的首要考虑功能。自从多点触控输入方式引领市场潮流之后,智能手机的屏幕就成为了设计的焦点。智能手机既要触控性流畅,又要易用性好。增大显示屏幕可以实现“增强显示效果”的有用功能,其属性为“观感操控性”;但是也产生了“增大机身尺寸”的有害功能,其属性为“携带握持性”,因此技术矛盾是智能手机屏幕的“操控性 VS 握持性”。智能手机屏幕技术矛盾分析见图4。

技术矛盾的特点在于“增大的显示屏”与“普通屏智能手机”相互作用的结果,既构建了积极功能“增强显示效果”,又衍生了消极功能“增大机身尺寸”,产生了矛盾;即增强了操控的流畅性,又降低了智能手机的携带及单手握持等易用性。

显示屏幕和普通智能手机相互作用时既生成了有用功能“增强显示效果”,又生成了一个有用功能“机身尺寸不变”,如果两者都想兼得,那么就对显示屏幕的尺寸提出了截然不同的要求,既要大,满足“操控性”的属性,又要不大,满足“携带握持性”的属性。智能手机屏幕物理矛盾分析见图5。

通过 SAFC 模型矛盾分析并导出的技术矛盾和物理矛盾可以看出,在保持智能手机整块屏幕尺寸满足人机工学不能太大的要求下,“齐刘海型”全面屏的设计是一个比较理想的解题途径^[16]。

3.2 SAFC 模型置换型解题实例

以智能手机全息投影显示为例,阐述置换型分析实例,见图6。

“齐刘海型”全面屏设计是目前主流手机企业采用的显示设计方案,但是从本质上讲,它的显示区域还是受制于屏幕的大小。如果应用3D全息投影技术制成全息投影显示模块,替换掉受制于几何大小的全面屏,那么未来智能手机的显示系统将发生革命性的变化,或许已经不需要显示屏了,只需要投影模块即可,而且投影显示的效果是3D、立体、有视察效应和景深感的。

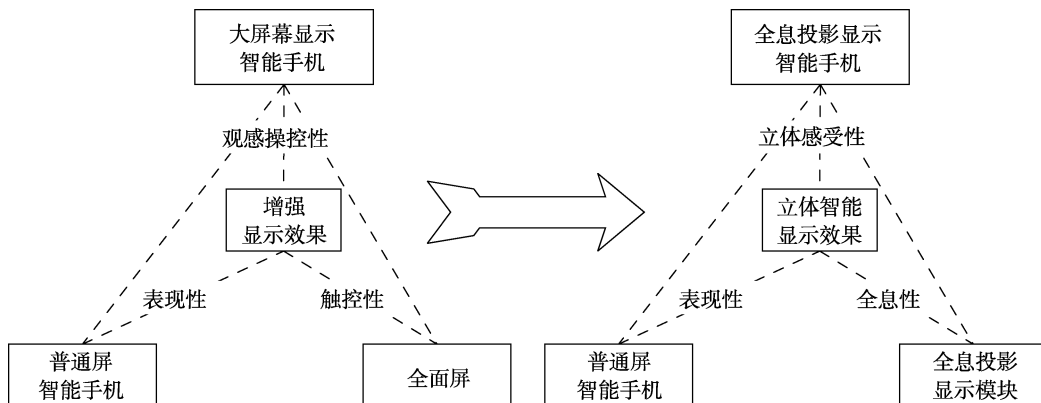


图6 智能手机全息投影显示置换型分析
Fig.6 Displacement analysis of smart phone front-projected holographic display

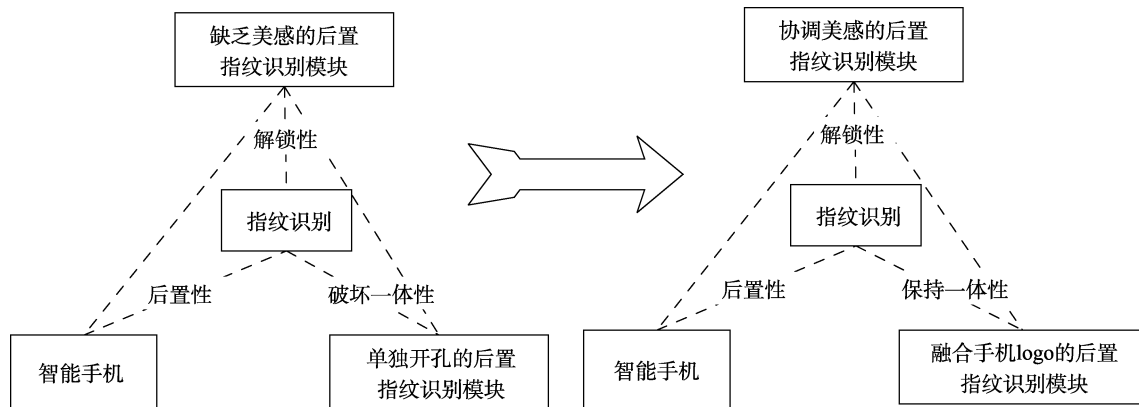


图 7 智能手机指纹识别内调型分析

Fig.7 Internal adjustment of smart phone fingerprint recognition

3.3 SAFC 模型内调型解题实例

内调型解题思路是尽量在有问题的技术系统内部寻找解决问题的资源和方式,遵循能不引入外部物质和场就尽量不要引入的策略。只要充分挖掘系统组件的物质属性,就有可能发现,只要对系统组件的特征稍微进行一点改动,就可以获取到新属性,并顺利解决问题。

后置指纹识别设计是全面屏手机普及之后的一个产物,由于全面屏的超高屏占比,导致厂商想在前面板上再放一块指纹模块就显得困难,所以手机厂商将指纹识别模块移到背部。然而在手机背部安置指纹识别模块就得在背部多开孔,这样就破坏了整机的一体性美感。大多数手机背部都镶嵌有厂商标志,而厂商标志和后置指纹识别模块分布在手机背壳的不同区域,如果把后置指纹识别模块内置融合在厂商标志区域中,这样就能避免在手机背部再单独打孔,从而使得破坏了一体性美感的指纹模块看上去自然了很多。智能手机指纹识别内调型分析见图 7。

4 结语

U-TRIZ 理论建立了一种以功能为导向、以属性为核心的 TRIZ 理论体系,较经典的 TRIZ 内容更加简洁易学,尤其是 SAFC 模型是一个从物场模型到功能模型演化而成的实用问题分析工具,有多种问题解题模式,能有效解决工程技术问题。其中 SAFC 模型内调型解题模式,弘扬了 TRIZ 的基本精神法则,即尽量在有问题的技术系统内部寻找解决问题的资源,超越了经典 TRIZ 中的物场模型的做法,彰显了 U-TRIZ 理论对经典 TRIZ 理论的改进创新性。然而,本文的矛盾分析实例和内调型实例是以已解决的共识性问题为例进行的分析,还缺乏足够多未知问题的实例分析,需要后续进一步对实例进行挖掘和研究。总之,可以预见, U-TRIZ 理论的广泛应用将为工程技术人员在利用 TRIZ 解题方面打开一个新的视角,帮助他们更好地进行创新设计。

参考文献:

- [1] ALTSHULLER G S. Creativity as an Exact Science[M]. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1979.
- [2] 张武城. 创造创新方略[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
ZHANG Wu-cheng. Creating Innovative Strategies[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2005.
- [3] 邵云飞, 王思梦, 詹坤. TRIZ 理论集成与应用研究综述[J]. 电子科技大学学报(社科版), 2018, 20(1): 1-10.
SHAO Yun-fei, WANG Si-meng, ZHAN Kun. Integration TRIZ with Application Research: a Literature Review[J]. Journal of UESTC (Social Sciences Edition), 2018, 20(1): 1-10.
- [4] 张武城, 赵敏, 陈劲, 等. 基于 U-TRIZ 的 SAFC 分析模型[J]. 技术经济, 2014, 33(12): 7-13.
ZHANG Wu-cheng, ZHAO Min, CHEN Jing, et al. SAFC Analysis Model Based on U-TRIZ[J]. Technology Economics, 2014, 33(12): 7-13.
- [5] 张武城. 技术创新方法概论[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
ZHANG Wu-cheng. Introduction to Technological Innovation Methods[M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [6] 彭慧娟, 成思源, 李苏洋, 等. TRIZ 的理论体系研究综述[J]. 机械设计与制造, 2013(10): 270-272.
PENG Hui-juan, CHENG Si-yuan, LI Su-yang, et al. The Overview of TRIZ's Theoretical Systems[J]. Machinery Design & Manufacture, 2013(10): 270-272.
- [7] 赵敏, 张武城, 王冠殊. TRIZ 进阶及实战: 大道至简的发明方法[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.
ZHAO Min, ZHANG Wu-cheng, WANG Guan-shu. TRIZ Enhancement and Practical Applications[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2015.
- [8] 朱芳芳, 赵锋. 基于 U-TRIZ 理论的家庭应急产品开发设计研究[J]. 包装工程, 2018, 39(14): 29-33.
ZHU Fang-fang, ZHAO Feng. Development and Design of Family Emergency Products Based on U-TRIZ Theory[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(14): 29-33.
- [9] 刘燕. 城市公共空间应急供水设施设计研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2018.

- LIU Yan. The Design of Emergency Water Supply Facilities in Urban Public Space[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2018.
- [10] 闫洪波, 曹国忠, 檀润华, 等. 基于三轴分析与功能模型融合的问题识别研究及应用[J]. 科技管理研究, 2019, 39(2): 269-274.
- YAN Hong-bo, CAO Guo-zhong, TAN Run-hua, et al. Research and Application of Problem Recognition Based on Triaxial Analysis and Functional Model Fusion[J]. Science and Technology Management Research, 2019, 39(2): 269-274.
- [11] 袁树植, 高虹霓, 王崑, 等. 基于感性工学的人机界面多意象评价[J]. 工程设计学报, 2017, 24(5): 523-529.
- YUAN Shu-zhi, GAO Hong-ni, WANG Wei, et al. Multi-image Evaluation for Human-Machine Interface Based on Kansei Engineering[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2017, 24(5): 523-529.
- [12] 郑耀辉, 胡付红, 王明海, 等. 基于 FAHP 及 FCA 的机床设备优选方法研究[J]. 工程设计学报, 2015, 22(5): 406-411.
- ZHENG Yao-hui, HU Fu-hong, WANG Ming-hai, et al. The Machine Tool Selection Optimization Method Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Comprehensive Assessment[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2015, 22(5): 406-411.
- [13] 李兰友, 陆金桂, 张建德. 基于产品基因的感性意象设计[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2019, 41(1): 71-78.
- LI Lan-you, LU Jin-gui, ZHANG Jian-de. Kansei Image Design on Product Genes Basis[J]. Journal of Nanjing Tech University (Natural Science Edition), 2019, 41(1): 71-78.
- [14] 张武城, 赵敏, 陈劲, 等. 基于 U-TRIZ 创建 SAFC 分析模型的方法及系统: 中国, 105844070 A[P]. 2016-08-10.
- ZHANG Wu-cheng, ZHAO Min, CHEN Jing, et al. Method and System of Creating SAFC Analysis Model Based on U-TRIZ: CN, 105844070 A[P]. 2016-08-10.
- [15] 张武城. 大数据时代创新发明的路线图和 SAFC 分析模型[J]. 测控技术, 2017, 36(10): 1-2.
- ZHANG Wu-cheng. Route Map of Innovation and Invention and SAFC Analysis Model in Big Data Era[J]. Measurement and Control Technology, 2017, 36(10): 1-2.
- [16] 刘再进, 宫汝华, 李青. 全面屏手机发展现状及展望[J]. 玻璃, 2018, 45(5): 27-29.
- LIU Zai-jin, GONG Ru-hua, LI Qing. Development Status and Outlook of Full Screen Mobile Phone[J]. Glass, 2018, 45(5): 27-29.

(上接第 84 页)

- [13] JINDAL R P, SARANGEE K R, ECHAMBADI R, et al. Designed to Succeed: Dimensions of Product Design and Their Impact on Market Share[J]. Journal of Marketing, 2016, 80(4): 72-89.
- [14] CHOI, YUJIN, LEE, et al. The Relationship between Foreign Lifestyle Brand Identity and Product Color-focused on "IKEA" and "MUJI"[J]. Journal of Korea Society of Color Studies, 2017, 31(3): 101-112.
- [15] XU Y, CHEN G, ZHENG J. An Integrated Solution-KAGFM for Mass Customization in Customer-oriented Product Design under Cloud Manufacturing Environment[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 84(1-4): 85-101.
- [16] 吴垠. 关于中国消费者分群范式(China-Vals)的研究[J]. 南开管理评论, 2005, 8(2): 9-15.
- WU Yin. The Research Towards Model of China-Vals[J]. Nankai Business Review, 2005, 8(2): 9-15.
- [17] TESSINI G K, MARINO R, MORGAN M, et al. Coping Strategies and the Salutogenic Model in Future Oral Health Professionals[J]. BMC Medical Education, 2016, 16: 224-231.