

基于 TRIZ 技术理论的智能手机设计演进研究

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** 针对智能手机设计方案创新点不足和创新者面临窘境等问题, 按照技术进化路线, 总结手机各子系统进化情况, 给出技术进化驱动的智能手机设计方案模型。**方法** 通过剖析手机技术产生、发展的深层次原因和技术进化规律, 归纳了智能手机产品进化史, 阐述了智能手机在拍照效果、解锁方式、屏幕显示、交互方式和音质音效等方面的进化过程, 并揭示了技术集成增加系统功能、增加自动化减少人工参与、子系统非均衡发展、增强系统的可控性及提高理想度等多条进化路线的应用情况。**结论** 根据智能手机目前在各条进化路线上所处的位置, 并以用户潜在需求为评价标准, 给出了智能手机的可选的创新设想设计方案。该研究将为手机企业寻找产品创新突破方向提供一种可供借鉴的解决方案。

关键词: TRIZ 技术进化理论; 进化设计; 产品创新; 智能手机

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)14-0160-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.14.024

Evolution of Smartphone Design Based on TRIZ Technology 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: With respect to problems such as the shortage and dilemma of innovation in smartphone design, the work aims to summarize the evolution of each smartphone subsystem and propose a design model of the smartphone driven by technology evolution. Based on the analysis of the deep-seated reasons for the emergence and development of mobile phone technology and the law of technology evolution, the evolutionary history of smartphone products was summed up, the evolution process of smartphone in many aspects was expounded, such as photographic effect, unlocking mode, screen display, interaction mode and sound quality, and the application of many evolution lines was revealed, such as technology integration increasing system functions, increasing automation and reducing artificial participation, unbalanced development of subsystems, controllability enhancement of the system and improving ideality of the system. According to the locations of smartphone in the corresponding evolutionary lines and with the potential needs of users as the evaluation criteria, the possible radical innovative design scheme of smartphone is given. This study will provide a methodological guidance solution for mobile phone companies to find a breakthrough direction in product innovation.

KEY WORDS: TRIZ technology evolution theory; evolutionary design; product innovation; smartphone

中国互联网络信息中心 (CNNIC) 于 2018 年 8 月 20 日在北京发布第 42 次《中国互联网络发展状况统计报告》^[1], 截止到 2018 年 6 月, 我国手机网民

规模达 7.88 亿, 网民通过手机接入互联网的比例高达 98.3%。另据 IDC 手机追踪报告, 今年全球智能机出货量预计为 14.2 亿部, 较上年的 14.7 亿部下降 3%,

收稿日期: 2020-06-08

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, 主要从事智能设计理论与方法研究。

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

其中中国市场在去年占据总智能机出货量的 30%，而今年出货量预计同比下跌 8.8%。从以上数据可以得出以下几点结论。一是手机市场巨大，市场产值很高，以多点触屏和至尊体验为突破点的苹果引领智能手机已超十年，带来了超过 1000 亿美元的利润，助推苹果市值最高超过 9000 亿美元，富可敌国。国内有“为发烧而生”追求极致性价比为突破口的小米公司，它以智能手机为主要业务，逐渐进化成小米生态链，初创八年，上市成功，市值曾达 470 亿美元，创造了“小米神话”。二是手机市场竞争异常残酷，产品生命周期短，消费者需求升级快，一旦错过一个技术创新窗口期，就很有可能被市场淘汰。不管是诺基亚手机帝国的轰然倒塌，摩托罗拉手机的巨星陨落，还是波导手机业务及 HTC 手机业务逐渐走向没落，都让人们充分意识到这个市场从来都不缺乏竞争，并且时刻充满着变数。三是智能手机市场已趋于饱和，竞争格局已趋向于动态平衡，并且已从增量市场向存量市场转换，产品创新不足和需求消费升级导致产品同质化现象严重。这就需要考虑：如何开启一个颠覆式创新的智能手机时代，如何开拓一个新的增量市场，下一个“苹果手机”式的黑马技术创新的突破点在哪里？如果不掌握创新规律，只使用工程专业知识和试错法的设计思路，在技术上很难解决以上问题，而通过深入研究 TRIZ 技术进化理论，能找到一些有效的方法，来提高上述问题的答案的准确率。

1 TRIZ 技术进化理论

发明问题解决理论（TRIZ）是以前苏联阿奇舒勒为首的科研人员创立的，是效率较高、推广范围较大的系统化的发明方法论^[2]。TRIZ 技术进化理论专门研究技术系统进化预测的 TRIZ 基础理论体系。技术系统进化规律是用户需求分析阶段的理论基础，对产品开发起着至关重要的引领作用。TRIZ 中所有的解题工具，如 40 个发明措施、分离原理、76 个标准解、效应等，都是为了实现、调节和优化技术系统功能的具体解题工具，也都与技术系统进化密切相关。只要应用了以上解题工具彻底消除了矛盾，就会让技术系统发生实质性的进化。创新方法可以分为思维

方法类和方法工具类。TRIZ 体系兼具创新思维与方法工具的双重属性，既包含思辨色彩的矛盾哲学和思想化方法，又具有明显的操作层面的工具价值，而且并不排斥其他创新方法，是一个集各种创新方法之大成的理论。集成 TRIZ、质量功能展开（QFD）和公理设计（AD）的智能手机创新设计过程模型见图 1^[3]。

TRIZ 技术系统进化法则与规律组成的解决发明问题的程式化过程可以形象化地称之为 TRIZ “进化桥”，它是连接发明问题与解决方案的纽带，打通了发明问题与解决方案的技术鸿沟，见图 2。

TRIZ 技术进化法则考虑的是产品如何从一种核心技术进化到另一种新的核心技术，即使新旧核心技

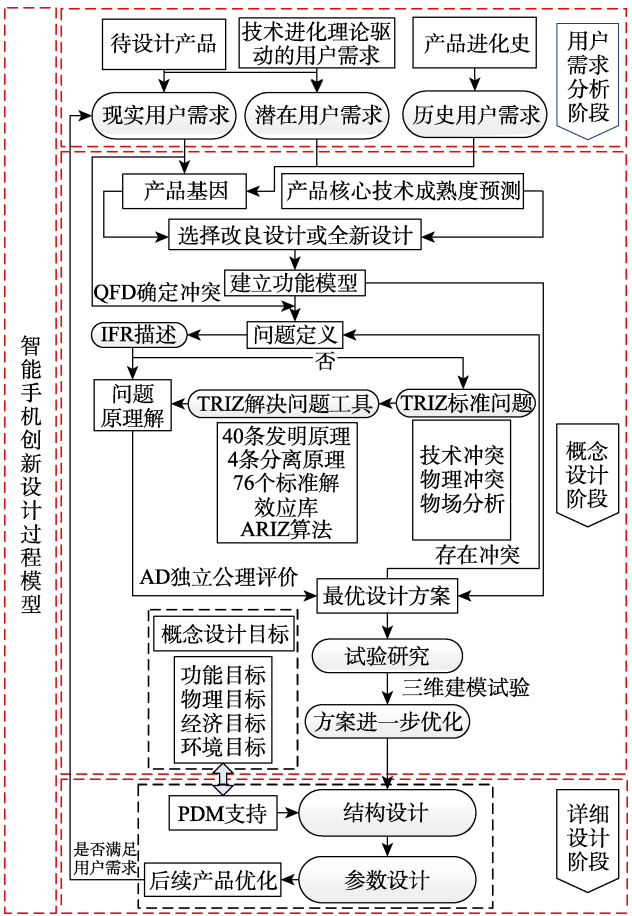


图 1 智能手机创新设计模型
Fig.1 Innovative design model of smartphone

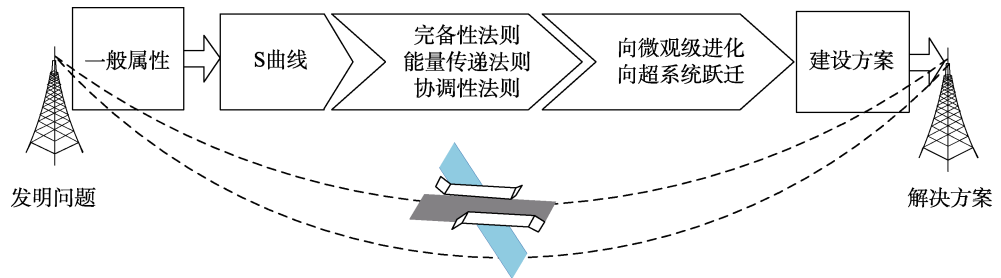


图 2 TRIZ 技术系统进化法则构成“进化桥”
Fig.2 The “evolutionary bridge” composed of evolutionary law of TRIZ technology system

还是智能化水平的角度,已经远远超越当年的霸主摩托罗拉和诺基亚。由此可知,在产品设计中,设计师是有意识的,明确的,主动根据市场导向创造出特定的产品形态,以迎合消费者的需求,而变化是随市场而动的,时间效应较强,若没有及时抓住市场动向,就会被竞争对手所淘汰。

2.2 智能手机各子系统进化路线分析

2.2.1 技术集成增加系统功能进化路线分析

此进化路线是沿着“单系统→双系统→多系统”的方向进化,是将原有的技术系统与另外的一个或多个技术系统进行组合,形成一个新的、更复杂的技术系统^[10]。

最初的手机是不具备拍照功能的,直到 2000 年 9 月,夏普推出的首款拍照手机夏普 J-SH04,虽然配置的只是单颗 11 万像素的 CCD 摄像头,但是开启了一个手机拍照的时代,随后手机拍照技术进入一个快速进化期,见图 5。出现了搭配单颗前置低像素摄像头加单颗超高像素后置摄像头的拍照手机,这样手机就具备了拍照和自拍功能。随后发现,单靠提高单颗摄像头的像素值并不能彻底解决更快的对焦速度、更好的降噪效果、更真实的色彩还原及更少的细节损失等真正影响智能手机拍照效果的技术问题,因此出现了以数量换质量的多摄像头技术路线。HTC G17 配置了单颗前置低像素摄像头和两颗后置中等像素的摄像头,后置两颗摄像头协同工作,可以拍摄出 3D

裸眼视频,它将智能手机拍照技术带入了三摄像头时代。随着 AI 技术的发展,前置单颗具备 3D 感知的高像素摄像头,后置三颗超高像素广角、高像素超广角和中等像素长焦摄像头的产品上市,具备了大光圈虚化、3D 动态全景、AI 摄影优化等多功能的四摄像头拍照手机华为 Mate20 Pro 上市。综上,可以看出拍照手机的进化史如下:单功能单摄像头拍照手机→自拍、摄像双功能双摄像头拍照手机→自拍、摄像和变焦多功能三摄像头拍照手机→自拍、摄像、变焦、3D 感知和 AI 优化等多功能四摄像头拍照手机。

虽然拍照手机的潜在技术进化路线目前看来还是向多系统集成方向发展,但是这受制于摄像头本身技术的发展,如果摄像头制备材料能够出现突破性创新,摄像头的体积可向微观方向发展,像生物界的复眼和工业界的集成电路一样,如果摄像头也能集成若干个于一部智能手机上,那就可以利用高效的 AI 算法优化出惊奇的拍照效果来。

2.2.2 增加自动化减少人工参与进化路线分析

此进化路线是沿着“人工作用的系统→用执行机构替代人工→在控制水平上替代人工→在决策水平上替代人工”的方向进化,技术系统向自动化方向进展,意味着可以解放人类,使得人机交互的方式越来越简洁、人性化和智能化,见图 6。

早期的手机解锁功能主要解决的问题是防止“误触”,因为早期的通信费率很高,一旦误触拨通长途,不仅给自己造成经济损失,也给对方带来经济损失和

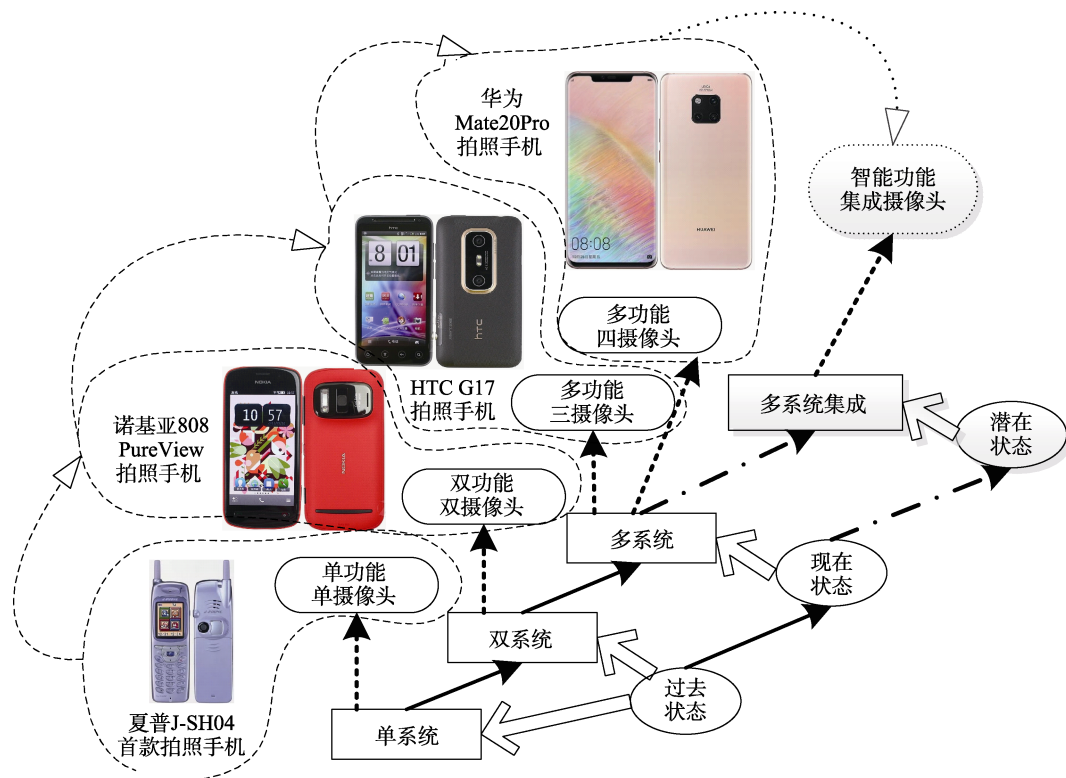


图 5 单一系统到集成系统的进化路线

Fig.5 Evolution lines from single system to integrated system

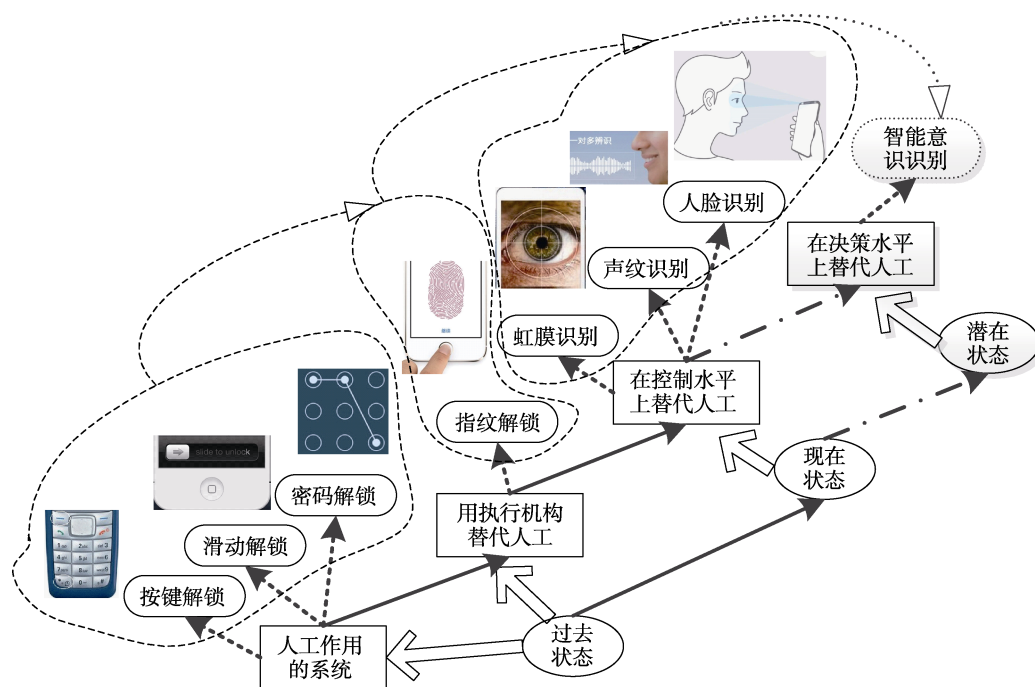


图 6 增加自动化减少人工参与的进化路线

Fig.6 Evolution lines of increasing automation and reducing artificial participation

烦恼。首先,通过设置特殊的按键组合进行解锁。然而缺乏情感和安全方面的考虑,为了解决这个问题,手机解锁技术进入了快速发展期。后来出现了滑动解锁和密码解锁等方式,轻轻一滑就掌控了手机,情感体验得到了充分的表达,却还欠缺安全感。随着手机储存内容的增多,隐私性和安全性越来越受用户重视,因此出现了字符密码解锁和图形密码解锁等方式。特别是图形密码解锁,提供 3×3 点阵中的一个绘制路径,给人以趣味性的解锁体验。之后,既快速又安全的指纹解锁的出现迅速垄断了当时的解锁市场。指纹解锁也有一些缺陷,如湿手和油污、解锁灵敏度低及必须要接触操作等问题。这时以人脸识别为代表的生物特征非接触解锁技术迅速发展,包括声纹识别和虹膜识别等,以结构光、空气等场态的柔性结构实现了非接触、简洁高效和安全的解锁技术系统。综上,可以看出手机解锁的进化史如下:按键解锁→滑动解锁、密码解锁→指纹解锁→虹膜识别、声纹识别和人脸识别等生物特征非接触解锁。

手机指纹解锁的潜在技术进化路线目前看来还是向非接触生物特征识别的智能化决策水平上发展。首先需要在人脸识别和声纹识别上继续提高技术的情感化决策水平;其次要在其他非接触传感器上进行探索,此传感器能够智能识别用户的心跳、表情甚至意识等,以通过复杂的算法判别决策用户是真的想使用手机,还是无意识地挪动一下手机位置。手机解锁方式如果达到了这个技术水平,相当于手机已经是一个非常智能的机器终端,很多交互方式都是隐形的、智能的,这必将给整个智能手机市场带来一场革新。

2.2.3 子系统非均衡发展路线分析

此进化路线是沿着“找出感兴趣的系统的主要子系统及其主要功能→选择一个主要子系统强化其主要功能→找出对其他子系统引起的系统冲突→对所有主要子系统重复上述步骤”的思路进行的。对于智能手机屏幕显示来说,其进化的路线是“移动通信按键与显示屏之间的冲突→彩色显示的丰富性与黑白显示单调性的冲突→屏幕交互性的需求与静态显示的冲突→虚拟按键和APP应用与屏幕尺寸显示质量的冲突→人机交互使用效率与功能形态之间的冲突”,见图7。

早期的移动手机是没有屏幕显示的,其主要的功能是移动通信。直到摩托罗拉3200提供了小于1英寸的可支持双行单色显示的黑白屏幕,不过这样的屏幕也承载不了太多的东西,手机主要还是用来接打电话的。随着人机交互的深入,屏幕作为手机的必备条件已得到大家公认。随着人们对丰富色彩的追求,黑白屏与彩色屏之间的冲突逐渐得到解决,出现了蓝屏、256彩色屏、65536色彩屏、23万色彩屏、2K级高清以及4K级高清屏。屏幕大小外观与实体键盘之间的冲突也逐渐解决,直接导致实体键盘消失,屏幕的大小也从3.2英寸、3.5英寸、5英寸、5.5英寸、6英寸,到18比9屏占比的全面屏。屏幕的可交互性冲突也得到解决,从电阻屏进化到电容屏。当前状态的技术冲突主要表现在超高的屏占比交互需求与智能手机的传感器、听筒、前置摄像头及指纹识别器等功能子系统的矛盾。以苹果公司为代表的企业利用了裁剪法则对屏幕进行了刘海型裁剪,由此诞生了刘



图 7 子系统非均衡发展的进化路线
Fig.7 Evolution lines of unbalanced development of subsystems

海型全面屏的外观风格。综上可以总结出手机屏幕显示的进化史如下：小于 1 英寸黑白屏→1 英寸蓝色背光屏、1 英寸 256 色彩色屏→3.2 英寸 23 万色电阻屏、4.5 英寸触摸黑白屏、3.5 英寸电容屏→6 英寸 2K 级高清电容屏→6.1 英寸 2K 级 OLED 刘海型全面屏。

智能手机屏幕显示系统的一条潜在进化路线预测是向折叠屏曲面屏等特殊造型进化，表现在直板矩形的规则几何形状向折叠弯曲等复杂曲面的方向进化。曲面屏的技术状况已经越过 S 进化曲线的婴儿期，目前处于成长期阶段，早在 2013 年，三星公司就推出过曲面屏手机三星 GALAXY Round，不过由于其设计过于超前，销售情况并不理想。另外一条潜在进化路线预测是 3D 全息投影技术的发展，目前该项技术在智能手机显示上还存在一些技术难点，如果这项技术能够突破，那么未来智能手机的显示屏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，到那时智能手机投影技术系统就会彻底代替智能手机屏幕显示系统。

2.2.4 增强系统的可控性进化路线分析

增加系统的可控性的进化路径大致是“无控制→

直接控制→间接控制→反馈控制→智能化自我调节控制”。无控制和直接控制属于被动适应系统范畴，间接控制属于分级适应系统范畴，反馈控制和智能化自我调节控制属于自适应系统范畴。被动适应系统是在无需设置动力驱动或伺服控制机构的条件下，系统能够适应环境的变化；分级适应系统是指操作人员通过传感器获得的信号，但是这种系统改变是分级的，而不是连续的；智能化自适应系统是装有传感器的系统，传感器自动检测环境的变化，并将这种变化传递给控制机构，从而实施控制，改变系统的运行状态。

早期手机的主要功能就是拨打电话，因此按键交互设计满足了用户需求，后来又演变出了 T9 键盘和 QWERT 全键盘造型。不过随着对手机屏幕的需求越来越大，机身上一排排的按键是制约屏占比的主要矛盾，为了解决这个矛盾冲突，物理按键逐渐退出市场，触控交互迅速发展，经过了多点触控、3D Touch、边缘触控和滑动手势等形式的演变，触控带来的滑动浏览、双指缩放和手势控制让手机更加易用和人性化，触控交互淘汰按键交互也是技术进化发展的必然。随着 AI 技术的发展，有一部分手机厂商开始配置 AI

专用处理芯片,出现了语音交互和一部分专用领域的全自动智能交互的方式。例如,配备 AI 算法的拍照技术能够自动对焦和自动美颜处理,将最优的成像效果展现给用户,虽然这些技术还不是特别成熟,但是手机交互方式的进化是不断向前的,增强系统的可控性就是让系统向自我调节、智能控制的方向发展。综上,手机交互方式的进化路线如下:按键交互→触控交互→语音交互→智能交互,见图 8。

2.2.5 提高理想度进化路线分析

提高理想度法则是技术系统进化的基本法则,它为创造性问题解决理论指明了努力的方向,也代表了所有进化法则的最终方向。它有以下进化路线可以考虑,简化子系统、简化操作、简化组件、提高系统的有益参数、降低系统的有害参数和在提高有益参数的同时降低有害参数。

早期的手机只能发出简短而单调的铃声作为来电话时的提醒,随着技术的发展,出现了 MIDI 铃声、和旋铃声和 MP3 铃声等多种铃声,目前智能手机普遍配置高保真的音质设备,有的配置杜比音效系统,音质和音效已达到身临其境的效果,音质、音效的技术进化潜力几乎达到了当前技术系统的极限,进化的方向之一是利用简化组件的进化路线对发声设备进行裁剪,如利用屏幕发声技术和骨传导技术代替当前的扬声器设备,这样裁减掉扬声器设备后,智能手机将提升空间布局能力,其进化路线图见图 9。

2.3 智能手机子系统进化潜力雷达图

智能手机子系统在对应的进化路线上的位置,通过进化位置模糊量化关系来界定。产品沿该进化路线还未实施进化,进化位置模糊值定义为 0;产品沿该进化路线刚实施进化,进化位置模糊值定义为 1;产品沿该进化路线实施了一定的进化,进化位置模糊值定义为 3;产品沿该进化路线的进化达到了进化极限,进化位置模糊值定义为 5;而模糊值 2、4 的进化程度介于 1 和 3、3 和 5 之间^[11]。通过图 5 至图 9 的进化路线分析并结合上述进化位置模糊量化评测方法,可以绘制出智能手机在技术集成增加系统功能进化路线、增加自动化减少人工参与的进化路线、子系统非均衡发展进化路线、增强系统的可控性进化路线和提高理想度的进化路线五个进化方向上的进化潜力雷达图^[12]。智能手机在拍照效果、解锁方式、屏幕显示、交互方式和音质音效等五个子系统上的进化潜力雷达图见图 10。

技术集成增加系统功能进化路线:智能手机拍照功能参考了“单系统→双系统→多系统”的进化路线,按照此进化路线,拍照功能将在如何缩小摄像头体积的情况下配置集成更多的摄像头,甚至仿生动物的复眼并利用 AI 算法优化集成方面寻求突破,进化潜力还是有的,不过难度较大。

增加自动化减少人工参与的进化路线:智能手机

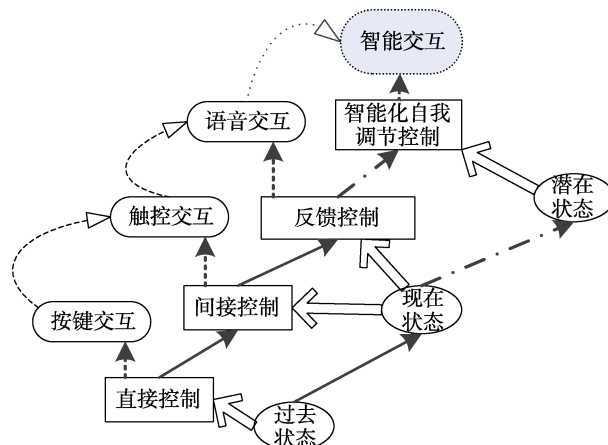


图 8 增强系统的可控性进化路线
Fig.8 Evolution lines of controllability enhancement of system

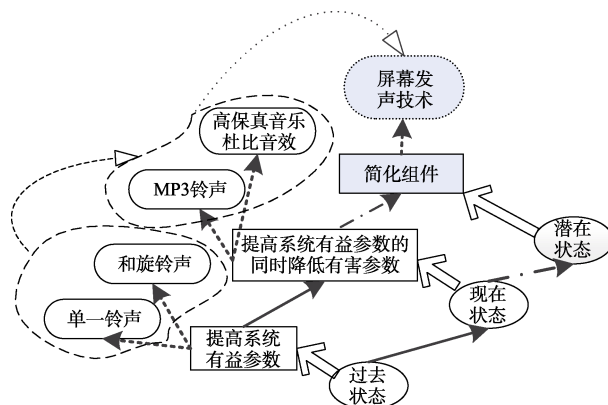


图 9 提高理想度的进化路线
Fig.9 Evolution lines of improving ideality

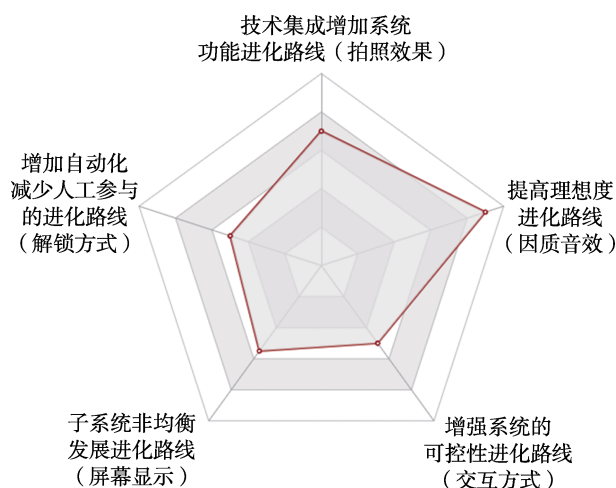


图 10 智能手机子系统进化的雷达图
Fig.10 Radar map of smartphone subsystem evolution

解锁方式参考了“人工作用的系统→用执行机构替代人工→在控制水平上替代人工→在决策水平上替代人工”的进化路线,按照此进化路线,解锁方式将在非接触生物特征识别的智能化决策水平上发展,还有比较大的进化潜力。

子系统非均衡发展进化路线:智能手机屏幕显示

参考了“找出感兴趣的系统的主要子系统及其主要功能→选择一个主要子系统强化其主要功能→找出对其他子系统引起的系统冲突→对所有主要子系统重复上述步骤”进化策略,按照此进化路线,智能手机屏幕显示将向折叠屏曲面屏等特殊造型以及3D全息投影方向发展,进化的潜力巨大。

增强系统的可控性进化路线:智能手机交互方式参考了“无控制→直接控制→间接控制→反馈控制→智能化自我调节控制”的进化路线,按照此进化路线,智能手机将在AI智能交互方向发展,能够根据不同的环境,准确识别用户的情感认知,自行预处理相关功能,从而大大提高人机交互效率,这方面的进化潜力巨大。

提高理想度的进化路线:智能手机音质音效参考了提高理想度的进化路线,通过应用提高系统有益参数、提高系统有益参数的同时降低有害参数的方法,不断提高手机这一组件的性能,不过这一组件的性能技术水平已发展到极致,进化潜力不大,反而通过简化组件的方式来为其他子系统提供支持。

3 结语

本文归纳了智能手机产品进化史,得出智能手机产品生命周期短、竞争激烈、需要加强产品创新设计的结论。对智能手机各子系统进化路线进行了分析,重点从智能手机拍照效果、解锁方式、屏幕显示、交互方式和音质音效等五个子系统方面应用对应的进化路线进行分析,得出了智能手机的创新设想概念方案:(1)AI算法优化集成的拍照智能手机;(2)具有智能化决策水平的非接触生物特征识别解锁智能手机;(3)具有折叠屏曲面屏等特殊造型及3D全息投影显示技术的智能手机;(4)具备智能自适应预判的新型交互方式智能手机;(5)具备屏幕发声且计算服务云化的智能手机。

市场竞争优胜劣汰,保持产品生生不息的依然是技术的进化。随着5G技术的推广,智能手机创新必将持续深入,不仅表现在惊艳的外观颜值,还包括各种“算法+芯片”所呈现的内涵特质,随着AI算法、全息投影、虚拟现实和量子计算等脱离手机子系统实体的技术发展,颠覆用户体验引领市场潮流的新产品必将在不久的将来产生。

参考文献:

- [1] 中国互联网络信息中心. 中国互联网络发展状况统计报告[R/OL]. (2018-08-20)[2020-05-20]. <http://www.cnnic.com.cn/hlwfzyj/hlwxbzg/hlwjbg/201808/P020180820630889299840.pdf>.
China Internet Network Information Center. Statistical Reports on Internet Development in China[R/OL]. (2018-08-20)[2020-05-20]. <http://www.cnnic.com.cn/hlwfzyj/hlwxbzg/hlwjbg/201808/P020180820630889299840.pdf>.
- [2] 张明勤, 范存礼, 王日君, 等. TRIZ入门100问: TRIZ创新工具索引[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
ZHANG Ming-qin, FAN Cun-li, WANG Ri-jun, et al. Introduction to TRIZ 100 Questions: Guidance of TRIZ Innovation Tools[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2012.
- [3] 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.
- [4] 平恩顺, 檀润华, 孙建广, 等. 面向成熟期产品突破性创新设计模糊前端阶段过程研究[J]. 工程设计学报, 2014, 21(2): 101-108.
PING En-shun, TAN Run-hua, SUN Jian-guang, et al. Research on Maturity Stage Product Radical Innovation Design Process on the Stage of Fuzzy Front End[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2014, 21(2): 101-108.
- [5] CAVALLUCCI D, WEILL R D. Integrating Altshuller's Development Laws for Technical Systems into the Design Process[J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2001, 50(1): 115-120.
- [6] 张付英, 李腾, 洪彬. 技术演进驱动的Y型密封圈增效设计方案研究[J]. 天津科技大学学报, 2013, 28(6): 48-51.
ZHANG Fu-ying, LI Teng, HONG Bin. Research on the Efficiency-reinforcement Design Solutions of Y Sealing Ring Driven by Technology Evolution[J]. Journal of Tianjin University of Science & Technology, 2013, 28(6): 48-51.
- [7] 张芳兰, 杨明朗, 刘卫东. 基于TRIZ技术与需求进化理论的产品创新[J]. 南昌大学学报(理科版), 2014, 38(2): 193-195.
ZHANG Fang-lan, YANG Ming-lang, LIU Wei-dong. Study on Product Innovation Based on TRIZ Technology and Demand Evolution Theories[J]. Journal of Nanchang University (Natural Science), 2014, 38(2): 193-195.
- [8] 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.
- [9] 于炜. 设计前瞻: 生态异化、形态演化与设计进化[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 2009.
YU Wei. Forward Design: Ecology Dissimilation, Form Evolution and Design Progression[M]. Shanghai: East China University of Science and Technology Press, 2009.
- [10] 张付英, 洪彬, 李腾. 基于TRIZ的弹性液压往复密封增效概念设计研究[J]. 机械设计, 2014, 31(9): 10-113.
ZHANG Fu-ying, HONG Bin, LI Teng. Conceptual Design Study of Elastomeric Hydraulic Reciprocating Sealing Efficiency Reinforcement based on TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2014, 31(9): 10-113.
- [11] 张付英, 张林静, 王平. 基于TRIZ进化理论的产品创新设计[J]. 农业机械学报, 2008(2): 116-119.
ZHANG Fu-ying, ZHANG Lin-jing, WANG Ping. Study on Product Innovative Design Based on TRIZ Evolution Theory[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008(2): 116-119.
- [12] 高常青, 陈伟, 密善民, 等. 基于TRIZ的技术预测方法研究与应用[J]. 机械设计, 2014, 31(8): 1-4.
GAO CHANG-qing, CHEN Wei, Mi Shan-min, et al. Research on Methodology of Technology Forecasting Based on TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2014, 31(8): 1-4.