

[经营·管理]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.02.020

基于遗传算法和 TRIZ 的产品服务系统 优化设计方法

梁 晖¹, 周 俊¹, 杨 帆²

(1. 上海工程技术大学 机械工程学院, 上海 201620; 2. 上海工程技术大学 管理学院, 上海 201620)

摘 要:针对产品服务系统方案优化设计问题,分析了系统方案设计过程中主要影响因素,基于遗传算法和 TRIZ 理论提出了产品服务系统方案优化设计方法。该方法可以优化产品服务系统的方案设计,并通过理想化程度值定量判定最优方案设计。以污水处理设备为例,应用该方法获取产品服务系统最优的方案设计,并与其它方案进行对比,验证了该方法的有效性。实际应用证明该方法不仅可以对产品服务系统方案设计的理想化程度进行定量的判定,还可以实现对系统方案设计的全局最优搜索。

关 键 词:产品服务系统;遗传算法;TRIZ 理想解;设计方案;适应度函数

中图分类号:TP391 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2016)02-0089-05

Optimization Method of Product Service System Based on Genetic Algorithm and TRIZ

LIANG Hui¹, ZHOU Jun¹, YANG fan²

(1. School of Mechanical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;

2. School of Management Studies, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: In view of the optimization design problem of product service system, the main factors in the design process of the system were analyzed. Based on genetic algorithm and TRIZ a method was put forward to optimize the design of product service system. The method can optimize the design of product service system, and determine the optimal design quantitatively according to the value of idealization degree. With the sewage treatment device for example, the method was used to achieve the best design and compare to other design to verify the effectiveness. The result shows this method can determine the optimal design quantitatively according to the value of idealization degree, and can achieve the best design of product service system.

Key words: product service system; genetic algorithm (GA); TRIZ final ideal solution; design scheme; fitness function

在联合国规划环境署大力提倡可持续消费、提供服务以及相关的产品以满足人类基本需求,减少物质材料的过度使用的背景下,产品服务系统思想于 20 世纪 90 年代产生。产品服务系统 (product service system, PSS) 的关键思想是用户不拥有物质形态的产品而可以享受到产品的功能或结果^[1]。它是一种在满足顾客需求的前提下,通过产品和服务的耦合,降低传统生产、消费模式对环境损坏的设计方法^[2]。PSS 从系统论的角度,将有形的产品和无形的服务系统的集成来解决环境问题^[3]。PSS 的提出贴合了当前可持

续发展的理念,对经济、社会的发展和环境的保护都具有重要的意义^[4-5]。

近年来,国内外学者对 PSS 研究主要集中在 PSS 设计方面:Halen^[6]等提出了 PSS 开发方法 (MEPSS); 韩国 Kim 等^[7]提出了系统的 PSS 开发过程;丹麦的 Morelli^[8]认为产品服务系统设计是从单一领域元素向多领域多元素组合的跨越,是对已有设计的扩展;日本学者提出了服务/产品工程学科用于 PSS 方案设计阶段;德国 Aurich 等^[9]基于技术产品服务系统来研究 PSS 方案设计。然而,目前对于 PSS 设计的优化方法

收稿日期:2015-08-06;修回日期:2015-10-27

作者简介:梁晖(1991),男,江苏句容人,硕士,主要研究方向为产品服务系统。E-mail:jrlhtc@163.com

还缺乏相应的研究。PSS 的设计主要是对产品、服务和环境等多方面品质的建立,如何设计系统中各品质以获取最优的 PSS 设计成为当前 PSS 研究中需要解决问题之一。产品服务系统的特征和质量在产品服务系统设计阶段确定,在后续阶段难以更改,因此是设计产品服务系统的核心^[10];而方案设计位于前端设计,是产品服务系统设计的关键阶段^[11],因此本文的研究是在产品服务系统方案设计基础上展开。

针对上述问题,本文借助遗传算法(genetic algorithm,GA)和TRIZ理论实现PSS方案的设计优化:以提高理想度为进化目的,基于GA理论中的遗传操作(选择、交叉和变异)实现系统方案的优化,打破传统PSS方案设计时的固定性和单样性的局限性,获取更多符合设计需求的方案;以TRIZ理想解为适应度函数确定方案最优解。同时,在优化过程中结合TRIZ理想化程度概念、采取基因二进制编码表征系统方案方法,通过基因组编码串的改变来代替系统方案优化,同时便于后续最优解的确定。

1 遗传算法理论

遗传算法是由美国 Michigan 大学的 Holland 教授于 1975 年首先提出的,它是一种模拟生物进化过程的全局优化搜索算法^[12]。遗传算法在使用二进制遗传编码时,搜索步骤分别分为交叉与变异 2 个独立的步骤进行^[13]。其流程如下^[14]:

- 1) 建立数学模型；
- 2) 编码——用设计好的算法将表现型映射到个体基因组；
- 3) 确定适应度函数,计算个体适应度；
- 4) 种群进化——对母体采用遗传操作(选择、交叉和变异)形成候选个体；
- 5) 解码,基于适应度函数评估个体优劣,确定最优解。

2 基于 GA 理论的产品服务系统优化策略

2.1 产品服务系统基因型模型获取

PSS 方案设计是从系统角度对目标对象进行设计,把设计对象看成是由若干个设计要素组成的系统^[15]。对设计目标进行分解,确定系统中的设计要素

并进行优化,以达到系统优化的目的。本文将 PSS 系统进行分解,分解之后设计要素如图 1 所示。将 PSS 设计要素通过特定方法转化为基因编码,以基因编码的有序串联组成 PSS 方案设计的基因组编码。

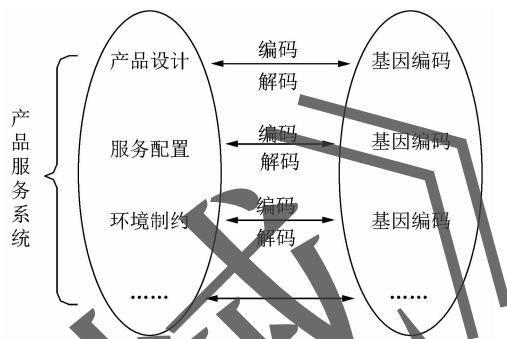


图1 产品服务系统设计要素分解图

Figure 1 Design elements diagram of product service system

2.2 产品服务系统优化编码方法

TRIZ 理想解认为, 技术系统的理想化状态是指一种在给定条件下能确保系统完成所有功能, 并且不消耗资源和能量的状态^[16]。对于系统来说, 如何完美地实现系统本身的功能, 减少资源的消耗才是重中之重。PSS 方案设计到基因编码的映射方法: 根据十进制转二进制方法, 将设计要素有用功能的理想化程度值转为二进制编码串, 通过编码串的有序串联实现从 PSS 方案表现型到基因型的映射。本文将理想化程度值分为 7 个层次, 由 1~7 表示, 数字由小到大表示程度由浅入深; 同时每个十进制对应二进制见表 1 (结合后续的适应度函数, 此处由设计中各要素的有用功能、有害功能和消耗成本理想化程度值共同决定了方案设计的理想化程度值, 其中有害功能主要指对于环境的损害)。

表现型映射到一个基因型的具体方法如下:由专家根据定义的7个理想化程度值来判定 PSS 中各设计要素的有用功能的理想化程度值,即判定产品设计、服务配置和环境制约因素三者有用功能的理想化程度值;将十进制的数值转化为二进制的编码,按照上述的顺序串联,得到 PSS 方案基因编码。

表1 理想化程度值及其二进制编码形式

Table 1 Degree of ideal value and binary code forms

[illegible]

2.3 产品服务系统模型优化策略

遗传算法模拟了自然界生物进化过程,从初始种群开始,通过随机选择、交叉和变异操作使种群进化到最优^[17]。此过程中,3种遗传操作是顺序串联的。在获取 PSS 方案基因型模型之后,采取选择、交叉和变异3种遗传操作实现 PSS 方案优化,具体方法如下:

1) 选择

选择是指根据个体适应度值判断个体优良与否,适应度值越大被选用的机会越大^[18]。

2) 交叉

交叉是指交换2个相互配对个体的编码串中交叉点之间的部分基因,从而形成2个新的个体,交叉点在个体编码串中提前设置^[19]。例如有2个 PSS 方案设计编码串,编码1为101001111,编码2为011010001。交叉点设置为服务配置,则服务配置编码处基因进行交叉,产生2种新的方案,新编码1为101010111,新编码2为011001001。通过设定不同位置的交叉点会产生不同的 PSS 方案。

3) 变异

变异操作是指按一定的变异概率使群体中个体基因串上的基因值变动^[20]。变异操作就是把二进制编码上基因座的值取反,把0变成1或者1变成0。例如产品设计时,专家判定其理想度值为4,其二进制编码为100,经过变异操作后其二进制编码可为101、110和111。本研究默认变异操作的有效性,即变异操作后其理想化程度值只能正向进行。

2.4 产品服务系统最优解确定

对系统的理想化程度进行衡量的参数称为理想化水平^[21],本文以理想化水平公式作为适应度函数来判断 PSS 方案的适应度,适应度值越大方案越优,式(1)为 TRIZ 理想化水平衡量公式:

$$I = \sum U_F / \sum H_F \quad (1)$$

式中: I 表示理想化水平; $\sum U_F$ 表示有用功能之和; $\sum H_F$ 表示有害功能之和。

对于 PSS 这个系统的设计不仅关注设计目标各要素具有的独立性,而且强调各要素之间存在的有机联系及层次递进关系,即系统设计要注重其整体性。本文认为 PSS 系统是产品、服务和环境三者耦合而成的,在设计时要注重三者的独立性,更要考虑到三者之间的关联性,考虑到它们对于整体的影响。根据 PSS 概念和 TRIZ 理想解的内涵确定产品服务系统的理想化水平衡量公式如式(2)所示,产生方案中适应度值最大的 PSS 方案即为最优方案。

$$I = \sum B / (\sum E + \sum H) \quad (2)$$

式中: I 表示理想化水平; B 表示有用功能, $\sum B$ 表示 PSS 的有用功能; E 表示消耗成本, $\sum E$ 表示 PSS 消耗的总成本; H 表示消耗成本, $\sum H$ 表示 PSS 产生的有害功能。

3 污水处理系统设计案例

污水处理是人们生活中的重要问题,关系到人类的身体健康。本文通过对 MBR—体化污水处理系统进行优化设计来证明基于 TRIZ 理想解和 GA 理论的优化设计方法的可行性。

一套完整的污水处理系统主要包括污水处理设备、相关服务以及对于环境的设计等。污水处理设备的组件主要包括箱体、转笼、传动系统等。对现有污水处理产品进行分析,得到初始方案设计结果如下。

1) 方案1

①箱体:整体采用上溢水和下过水的形式完成污水在箱体内的流动。污水从预氧化池到开三角围堰的高效生物膜反应器,采用溢水的形式预先处理丝状杂质,如图2所示。②转笼:尺寸为半径0.9 m、长2.4 m的圆柱形状体,与箱体长度平行,在适当位置安装定位。转笼下方安装有支撑轮,防止转笼运转过程中的变形并有助于转笼转动,如图3所示。同时在转笼轴承处,箱体开孔便于轴承的更换。③传动系统:通过传动轴进行传动,轴的两端同时传动。④服务配置:安装调试;售后维修。⑤环境制约设计:无污水处理之后的污质直接排除。

2) 方案2

①在方案1的基础上设置导流管进行分流,防止水流动来不及在生物膜反应器中实现污水处理,如图2所示。②转笼:尺寸为半径1 m、长2.1 m圆柱形

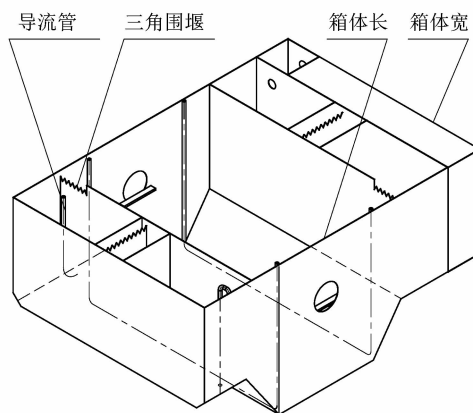


图2 箱体过水方案

Figure 2 Flow water solution of tank

状体,与箱体宽度平行,在合适的位置安装定位。③传动系统:通过齿轮啮合完成传动。④服务配置:安装调试;售后维修;远程监控;故障警报;水质监测。⑤环境制约设计:无污水处理之后的污质直接排除;电解池电解产生的气状杂质通过曝气泵及排气管排入高效生物膜反应器处理。

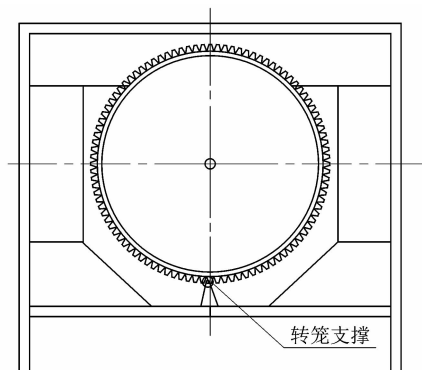


图3 转笼支撑方案

Figure 3 Support plan of rotor cage

由专家评判2种污水处理系统方案设计中产品、服务和环境设计有用功能的理想化程度,通过编码操作得到基因编码如表2所示。

表2 初始污水处理系统设计方案理想值判定

Table 2 Ideal value judgment of sewage treatment system with initial design

方案	产品设计	服务配置	环境设计	方案基因型
1	5,3,4	3,4,3	3,4,3	101011011
2	3,5,3	5,3,5	4,3,4	100101100

以TRIZ理想化公式计算2种初始方案的适应值,结果如下:

$$I_{\text{方案1}} = \sum B_1 / (\sum E_1 + \sum H_1) = 11/21 = 0.52,$$

$$I_{\text{方案2}} = \sum B_2 / (\sum E_2 + \sum H_2) = 11/23 = 0.48。$$

对表2中2种方案基因型进行遗传操作,产生新的编码如下:

100011011, 110011011, 1010011011, 111011011, 101101100, 110101100, 111101100, 101101011, 110101011, 111101011, 100011100, 101011100, 110011100, 111011100, 101011100, 100101011等。

对方案基因型解码,以TRIZ理想化公式计算2种遗传操作后产生新方案的适应值(理想化值):

$$I_{\text{最优方案}} = \sum B / (\sum E + \sum H) = 16/22 = 0.73。$$

最优设计方案如下:

1) 箱体。整体采用上溢水和下过水的形式完成

污水在箱体内的流动。污水从预氧化池到开三角围堰的高效生物膜反应器,采用溢水的形式,可以预先处理丝状杂质。同时采用导流管从底部过水,采取分流的形式防止水流过大来不及在生物膜反应器中实现污水处理。

2) 转笼。尺寸为半径1 m、长2.1 m圆柱形状体。与箱体宽度的平行位置,安装定位。转笼下方安装有支撑轮,防止转笼运转过程中的变形并有助于转笼转动。同时在转笼轴承处,箱体开孔便于轴承的更换。

3) 传动系统。在轴的一端传动,并通过传动轴保证两边同步传动。

4) 服务配置。安装调试,远程监控,故障警报,售后维修,水质检测。

5) 环境制约设计。无污水处理之后的污质直接排除;电解池电解产生的气状杂质通过曝气泵及气管排入高效生物膜反应器处理。

4 总结与展望

采用TRIZ理想解作为目标函数,方法简单、形象直观、逻辑关系明确;基于GA理论的遗传操作能够打破传统PSS方案设计的局限性,得到更多更好的符合要求的设计方案。本文TRIZ理想解和GA理论的遗传操作同时使用,结合污水处理系统实例,解决了在系统方案设计时的2个问题:①方案设计的固定性和有限性;②PSS方案设计最优解的确定。该方法充分证明了两者在PSS设计中非常有效,为类似PSS方案设计优化问题提供了良好指导意义。

参考文献:

- [1] ROY R. Sustainable product-service systems [J]. Futures, 2000, 32 (3/4): 289-299.
- [2] MANZINI E, VEZZOLI C, CLARK G. Product-service systems: using an existing concept as a new approach to sustainability [J]. Journal of design research, 2001, 1(2): 19-31.
- [3] MONT O K, TUKKER A. Product service systems: reviewing achievements and refining the research agenda [J]. Journal of cleaner production, 2006, 14(17): 1451-1454.
- [4] MONT O K. Clarifying the concept of product service system [J]. Journal of cleaner production, 2002, 10(3): 237-245.
- [5] WHITE A L, STOUGHTON M, FENG L. Servicizing: the quiet transition to extended product responsibility [R]. Boston: US Environmental Protection Agency, 1999.
- [6] HALEN C V, VEZZOLI C, WIMMER R. Methodology for product service system innovation: how to develop clean, clever and competitive strategies in companies [M]. Assen, The Netherlands: Koninklijke Van Gorcum, 2005.
- [7] KIM Y S, LEE S W, JIN H, et al. Product service system (PSS) design process and design support systems [M]. Functional Thinking

- for value creation. Braunschweig, Germany: Springer Berlin Heidelberg, 2011: 129 - 134.
- [8] MORELLI N. Product service systems, a perspective shift for designers; a case study: the design of a telecentre [J]. Design studies, 2003, 24(1): 73 - 99.
- [9] AURICH J C, FUCHS C, WAGENKNECHT C. Life cycle oriented design of technical product service system [J]. Journal of cleaner production, 2006, 14(17): 1480 - 1494.
- [10] HARA T, ARAI T, SHIMOMURA Y, et al. Service CAD system to integrate product and human activity for total value [J]. CIRP journal of manufacturing science and technology, 2009, 1(4): 262 - 271.
- [11] 耿秀丽, 褚学宁. 产品服务系统设计方法研究的总结和探讨[J]. 现代制造工程, 2014(9): 1 - 8.
- [12] 宋凤龙, 刘方爱. 网格 cache 获取资源副本的优化策略[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(22): 124 - 163.
- [13] 葛继科, 邱玉辉, 吴春明, 等. 遗传算法研究综述[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(10): 2911 - 2915.
- [14] 曹青松, 周继惠, 宋京伟, 等. 遗传算法在机械优化设计的应用[J]. 机械研究与应用, 2003, 16(3): 57 - 60.
- [15] 杜鹤民. 基于系统化思想的产品服务系统设计方法研究[J]. 现代制造工程, 2013(8): 42 - 46.
- [16] 纪建民, 张东生. 基于 TRIZ 的管理创新解的理想化水平判定方法[J]. 科技进步与对策, 2009, 26(18): 129 - 131.
- [17] 杜锐. 遗传算法在给水管网优化设计中的应用[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2002: 13 - 21.
- [18] 毛瑞友. 资源最优分配模型的研究与应用[D]. 北京: 中国地质大学, 2007: 17 - 30.
- [19] 崔玲丽, 肖志权. 实数编码遗传操作机制的研究[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(11): 1577 - 1579.
- [20] 赵瑞. 多目标遗传算法应用的研究[D]. 天津: 天津大学理学院, 2005: 6 - 31.
- [21] 姜杰, 李彦, 熊艳. 基于 TRIZ 理想解和功能激励的产品服务系统创新设计[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(2): 225 - 234.

(上接第 88 页)

- [7] 梁潞华, 任大为. 压力容器用膨胀节疲劳失效分析及对策[J]. 装备制造技术, 2013(2): 96 - 98.
- [8] RANJBAR K. Effect of flow induces corrosion and erosion on failure of a tubular heat exchanger[J]. Materials and design, 2010, 31(1): 613 - 619.
- [9] RAVINDRANATH K, TANOLI N, GOPAL H. Failure investigation of brass heat exchanger tube [J]. Engineering Failure Analysis, 2012(26): 332 - 336.
- [10] 韩占忠, 王敬, 兰小平. FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2010.
- [11] 刘磊, 宋天民, 管建军. 基于 FLUENT 的管壳换热器壳程流场数值模拟与分析[J]. 轻工机械, 2012, 30(1): 18 - 21.
- [12] 王雪山, 张健. 折流板换热器壳程流体流动与传热特性数值模拟[J]. 机械研究与应用, 2012, 122(6): 8 - 11.
- [13] 付磊, 曾毅林, 唐克伦, 等. 管壳式换热器壳程流体流动与传热数值模拟[J]. 压力容器, 2012, 29(5): 36 - 41.
- [14] 唐玉兔, 丁杰. 管式 IGBT 水冷散热器性能的数值模拟研究[J]. 机电工程, 2014, 31(7): 870 - 874.

[信息·简讯]

· 产品介绍 ·

● XMC1400 微控制器助力实现成本敏感的实时电源控制

XMC1400 微控制器将助力英飞凌科技股份有限公司在工业自动化、数字电源转换和电子控制领域开辟诸多全新应用。相比早先推出的 XMC1000 产品而言, 全新 XMC1400 系列能实现更出色的控制性能和更好的连接性。XMC1400 采用 ARM® Cortex® -M0 处理器, 具备针对目标应用精心定制的全面外设功能。目标应用包括: 工业自动化领域的执行器、用于控制 LED 灯和多相电机的数字电源转换, 以及对割草机、锯齿机或发电机等配备的小型内燃机进行电子控制。

XMC1400 微控制器系列产品特点: ① 4 个 CCU 定时器模

块(2 个 CCU4 和 2 个 CCU8 模块), 因而有多达 16 个独立的定时器, 可以实时产生 PWM。② 为控制电机, XMC1400 配有 2 个接口, 用于连接霍尔传感器或光学编码器。③ 1 个 BCCU 外设单元(亮度和颜色控制单元), 实现对 LED 的无闪烁数字调光和颜色控制, 可以设计多通道 LED 开关模式电源, 可调节彩色 LED, 模拟太阳光的光谱(可调白光)。

在需要有众多传感器和执行器进行联网的任何应用中, XMC1400 不仅可提供所需的实时控制性能, 而且还带有必要的接口。另外, 在不太复杂的解决方案中, XMC1400 能具有合理的系统成本。

(季文雯)