

支持生物激励解方案生成的设计综合

陈集懿, 马 进, 胡 洁, 戚 进, 彭颖红

(上海交通大学 机械与动力工程学院, 上海 200240)

摘 要: 为了解决生物激励设计过程中创新解方案生成问题, 提出了数学语言描述的支持生物激励解方案生成的设计综合方法。基于对实例功能分解所构建的功能—行为—结构知识元库, 首先对设计需求进行功能分解, 检索获取功能匹配知识元, 通过回溯功能分解过程实现知识元的连接, 以生成初步解方案; 继而根据知识元行为属性、参数及约束进行推理验证, 获得建议解方案; 再采用模糊 TOPSIS 综合评价方法, 构建了基于结构的解方案评价模型, 以获取最优解方案。通过上述三步骤, 系统地实现了解方案的生成。最后, 以视觉假体装置为例, 将提出的方法用于生物激励设计过程, 产生了满足需求的解方案。结果表明, 该方法能够有效地利用检索到的知识元集合, 保证解方案的创新性和可行性。

关键词: 创新设计; 知识元; 生物激励; 方案评价

DOI: 10.15938/j.jhust.2020.06.012

中图分类号: TH122 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2020)06-0085-07

Research on Design Synthesis Methodology in Supporting of Bio-inspired Design Solution Generation

CHEN Ji-yi, MA Jin, HU Jie, QI Jin, PENG Ying-hong

(School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: In order to solve the problem of innovative solutions generation in the process of bio-inspired design, a systematic design synthesis method described by mathematical language has been proposed to support bio-inspired design solutions generation. Firstly, based on the formerly proposed Function-Behavior-Structure (FBS) knowledge cells model constructed by the decomposition of case functions, the pre-synthesis step acquires preliminary design solutions through connecting FBS knowledge cells end to end by backtracking the functional decomposition process of design requirements. Secondly, the reasoning step verifies the corresponding behavior attributes, parameters and constraints of the generated preliminary solutions to acquire suggested solutions. Thirdly, the evaluation process based on the fuzzy TOPSIS comprehensive evaluation method further evaluates the quality of suggested solutions to acquire committed design solutions. Finally, the design of a visual prosthetic device is taken as an example to verify the proposed bio-inspired design methodology, and solutions to meet the design requirements are generated. The result shows that the proposed methodology can be used effectively with the retrieved knowledge cells set and ensures the innovativeness and feasibility of the solutions.

Keywords: innovative design; knowledge cells; bio-inspiration; solutions evaluation

收稿日期: 2019-05-13

基金项目: 国家自然科学基金(51605302, 51675329, 51675342, 51775332); 国家重点研发计划课题(2016YFF0101602, 2016YFC0104104); 科技部创新方法工作专项(2018IM020100); 2018 年度人工智能创新发展项目(2018-RGZN-02035); 上海交通大学“医工交叉研究基金”(1H2018QNB03, YG2017QN61)。

作者简介: 陈集懿(1996—), 男, 硕士研究生;

马 进(1986—), 男, 博士, 助理教授。

通信作者: 胡 洁(1973—), 男, 教授, 博士研究生导师, E-mail: sjtuhujie@126.com。

0 引言

生物激励设计^[1]是一门知识工程与仿生设计相交叉的新兴学科,本质是一种知识驱动下的系统化设计方法,其中的核心环节是将生物领域的对应设计知识映射到工程领域,以解决工程领域中存在的设计问题,从而实现在生物领域知识激励下的工程领域创新解方案生成的过程。Wilson等^[2]使用描述逻辑进行本体的编码,提出了构建可以对生物和工程设计策略作存储和检索的库的方法。浙江大学吉祥等^[3]针对仿生设计中难以实现向工程领域转化的问题,根据关系-映射-反演的框架,提出了基于Bio-TRIZ的方法,在生物实例与相关的工程领域设计问题之间构建起映射关系。赵燕江等^[4]把TRIZ中的物-场分析应用于套管柔性针穿刺机构的设计。Liu等^[5]把TRIZ中的矛盾消解和仿生学结合起来,提出了概念集成模型,实现基于生物功能的创新。当前已有的生物激励设计研究主要集中在构建生物领域与工程领域之间映射关系,以实现跨领域实例知识的获取,对于如何应用跨领域知识生成设计解方案,尚缺乏系统性的方法。设计综合^[6]是指对已有的设计实例知识进行组合、验证、分析等操作,常以文本处理^[7]、语法规则^[8]等得到概念解方案,使其能够满足新的设计需求,因此,在生物激励设计过程中,设计综合对于概念解方案的生成及其实际工程意义具有关键作用。为此,胡洁等^[9]提出了生物领域功能-行为-结构知识元模型和解-问题驱动转换-聚类检索-关联映射-设计综合创新类推过程模型,实现了跨领域知识类推推理。

但该方法尚缺少对解方案生成过程的数学建模和评价。面对生物激励设计过程中每种生物实例通常就可以生成多种创新设计这一特性,基于当前的知识网络^[10]时代背景,本文提出了基于数学语言描述的支持生物激励解方案生成的设计综合方法。

1 知识元获取

从功能、行为、结构、约束4个方面考虑,综合使用输入输出流、输入输出状态参变量、语义参数、属性-值范围规则这4大类表示方法,对生物领域和工程领域的实例进行知识元建模^[9]。构建完成的知识元模型如图1所示。

为有效管理大量的知识元,基于检索功能词相

似关系和实例知识功能分解,对它们进行聚类检索。考虑到不同领域知识元的特性,分别采取不同的方法:通过功能语义相关性和环境约束适应性,对生物领域知识元进行聚类^[11];通过功能语义相关性和行为参数匹配度,对工程领域知识元进行聚类。

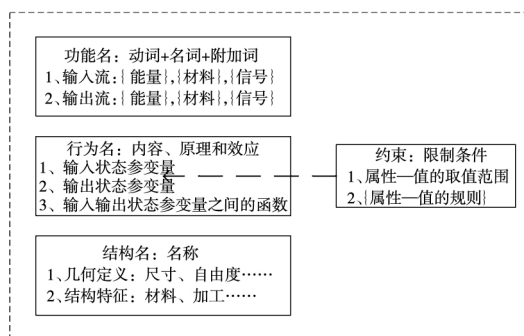


图1 知识元模型

Fig. 1 Knowledge cell model

2 设计综合方法

如图2所示,在跨领域聚类所得知识元集合的基础上,生成生物激励解方案的设计综合方法,可分为以下3个阶段:基于功能的初步设计综合、基于行为的初步解方案推理验证、基于结构的建议解方案综合评价。

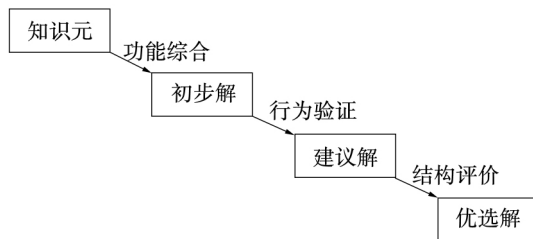


图2 设计综合方法框架

Fig. 2 Design synthesis method framework

2.1 基于功能的初步设计综合

对于聚类所得的知识元,首先要使其满足设计功能需求目标,按照设计需求功能分解过程将它们首尾相接组合起来。

将设计需求^[12]进行功能分解,会得到若干子功能 $F_i (i=1,2,\dots,m)$,通过这些子功能的功能动词及输入输出流,可以检索到对应的知识元,记为 $\forall i \in \{1,2,\dots,m\}, K_{ij} (j=1,2,\dots,n_i)$ 。

按照功能分解过程,将知识元首尾相接,保证:

- 1) 知识元所满足的功能符合其对应的设计需求子功能;
- 2) 前一个知识元的输出流与后一个知识元的

输入流相同。至此,形成满足设计功能需求的知识元功能链,完成了初步解方案生成。

2.2 基于行为的初步解方案推理验证

利用初步解方案中各个知识元的行为参变量^[3]及其关系,对初步解方案进行推理验证,以保证解方案可行性。推理^[4]过程的基本原理为:推算初步解方案中各个知识元的未知输入、输出参变量是否满足相邻参变量约束^[5],以保证知识元的可用性。

对于知识元链上的某一知识元 K_i ,有如下推理过程。

1) 假设所有初步解方案中,与当前知识元 K_i 输入端有关联的知识元集合为 K_{i-1} ,与输出端有关联的知识元为 K_{i+1} 。推理过程所涉及到的变量及函数名的符号表示,如表1所示。

表1 推理过程所涉符号表示

Tab. 1 Symbolic representation of the reasoning process

	K_{i-1}	K_i	K_{i+1}
输入参数	$\{i_R\}_{i-1}$	i_i	$\{i_C\}_{i+1}$
输出参数	$\{O_R\}_{i-1}$	O_i	$\{O_C\}_{i+1}$
行为函数	$\{f_R(x)\}_{i-1}$	$f_i(x)$	$\{f_C(x)\}_{i+1}$
行为反函数	—	$f_i^{-1}(x)$	$\{f_C^{-1}(x)\}_{i+1}$
输入属性	Q_i^R	Q_i^i	Q_i^C
输出属性	Q_O^R	Q_O^i	Q_O^C
输入参数值	$\{P_i^R\}_{i-1}$	P_i^i	$\{P_i^C\}_{i+1}$
输出参数值	$\{P_O^R\}_{i-1}$	P_O^i	$\{P_O^C\}_{i+1}$
输入参数值的约束	$Res_{\{P_i^R\}_{i-1}}$	$Res_{P_i^i}$	$Res_{\{P_i^C\}_{i+1}}$
输出参数值的约束	$Res_{\{P_O^R\}_{i-1}}$	$Res_{P_O^i}$	$Res_{\{P_O^C\}_{i+1}}$

2) 输入参数驱动的推理: 当给定知识元 K_{i-1} 的输入参数值 $\{P_i^R\}_{i-1}$ 时,先计算对应的输出参数值 $\{P_O^R\}_{i-1}$,其中对应于知识元 K_i 的输入参数值有 P_i^i ,需要满足约束 $Res_{P_i^i}$,再计算输出参数值 P_O^i ,其应满足约束 $Res_{P_O^i}$ 。

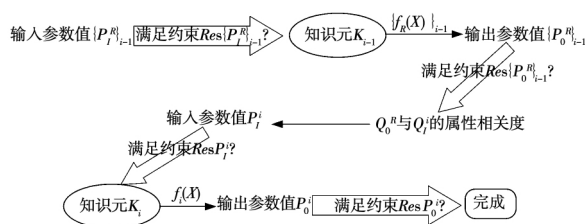


图3 参数验证流程

Fig. 3 Parameter verification process

图3所示为参数验证流程。数学表达如下:

$$\begin{aligned} \forall I_R = Q_i^R: P_i^R, I_R \in \{I_R\}_{i-1} &= \{Q_i^R\}_{i-1}: \{P_i^R\}_{i-1}; \\ O_R = Q_O^R: P_O^R, O_R \in \{O_R\}_{i-1} &= \{Q_O^R\}_{i-1}: \{P_O^R\}_{i-1}; \\ I_i = Q_i^i: P_i^i, O_i = Q_O^i: P_O^i; \\ \{f_R(x)\}_{i-1}: \{I_R\}_{i-1} &\rightarrow \{O_R\}_{i-1}; \\ f_i(x): I_i &\rightarrow O_i; \end{aligned} \quad (1)$$

其中, $I_R = Q_i^R: P_i^R$ 表示参数 I_R 的表达形式是属性 Q_i^R —值 P_i^R 对。

$$\begin{aligned} P(\{P_i^R\}_{i-1}, Res_{\{P_i^R\}_{i-1}}) &= \\ Set(\{P_i^R\}_{i-1}, Res_{\{P_i^R\}_{i-1}}) &? 1: 0; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} P(\{f_R(\{P_i^R\}_{i-1})\}_{i-1}, Res_{\{P_i^R\}_{i-1}}) &= \\ Set(\{f_R(\{P_i^R\}_{i-1})\}_{i-1}, Res_{\{P_i^R\}_{i-1}}) &? 1: 0; \end{aligned}$$

其中, $Set(\dots)$ 表示约束满足与否的判断, $P(\dots)$ 表示推理中参数值与对应约束的相关度。

$$\begin{aligned} \forall \{Q_O^R\}_{i-1}, \exists \{Q_O^i\}_{i-1} &= \\ \{Q_O^R \mid Per(Q_O^R, Q_O^i) \geq \delta, Q_O^R \in \{Q_O^R\}_{i-1}\}, & \quad (3) \\ Q_i^i \sim \{Q_O^R\}_{i-1} \end{aligned}$$

其中, $Per(Q_O^R, Q_O^i)$ 表示前一类知识元输出端属性 Q_O^R 与当前知识元输入端属性 Q_O^i 的基于节点距离的相关度; δ 表示验证阈值,可依据实际需要作选值,本文实例中取为0.35,仅用于示范,不代表最优值。

$$\begin{aligned} \forall \{Q_O^R\}_{i-1} \cap Q_i^i &\neq \emptyset, \\ \{P_O^R\}_{i-1} &= \{f_R(\{P_i^R\}_{i-1})\}_{i-1}; \\ i_i = \{O_R\}_{i-1} &= \{Q_O^R\}_{i-1}: \{P_O^R\}_{i-1} = Q_i^i: \{P_O^R\}_{i-1}; \\ P(P_i^i, Res_{P_i^i}) &= P(\{P_O^R\}_{i-1}, Res_{P_i^i}) = \\ Set(\{P_O^R\}_{i-1}, Res_{P_i^i}) &? 1: 0; \\ P(P_O^i, Res_{P_O^i}) &= P(\{f_i(\{P_O^R\}_{i-1})\}_{i-1}, Res_{P_O^i}) = \\ Set(\{f_i(\{P_O^R\}_{i-1})\}_{i-1}, Res_{P_O^i}) &? 1: 0. \end{aligned} \quad (4)$$

3) 输出参数驱动的推理: 当给定知识元 K_{i+1} 的输出参数值 $\{P_O^C\}_{i+1}$ 时,先计算对应的输入参数值 $\{P_i^C\}_{i+1}$,其中对应于知识元 K_i 的输出参数值有 P_O^i ,需要满足约束 $Res_{P_O^i}$,再计算输入参数值 P_i^i ,其应满足约束 $Res_{P_i^i}$ 。过程的数学表达仿步骤2),不再赘述。

4) 输入—输出参数综合驱动的推理: 如果被检验知识元的输入输出参数能够满足

$$P(P_i^i, Res_{P_i^i}) \cap P(P_O^i, Res_{P_O^i}) = 1 \quad (5)$$

则予以保留。对所有初步解方案进行如上过程的推理验证后,得到所有符合约束条件的知识元链,即生成建议解。

2.3 基于结构的建议解方案综合评价

在建议解方案综合评价的过程中,考虑到不同的评价指标具有不同权值,并且给定评价价值也具有不确定性和模糊性^[6],因此,首先应用模糊 AHP 方法^[7]获得评价指标的权值,再通过 TOPSIS^[8]完成基于结构的建议解方案综合评价,从而形成了具有模糊 AHP 权重的 TOPSIS 综合评价方法。

1) 系统分析,明确评价对象及指标体系。

根据设计需求,对系统组成进行分析,在明确被评价对象 $M = \{m_1, m_2, \dots, m_l\}$ 的基础上,建立起具有相互联系的层次化指标体系 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, 对于其中的指标又可构建起子指标 $t_i = \{t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{ih}\}$ 。

2) 获得评价指标的权值。

在同一层次的评价指标中作两两比较,根据它们之间的相对重要度给出模糊权值矩阵。模糊标度 s_{ij} 的基本定义如表 2 所示。

表 2 模糊标度
Tab. 2 Fuzzy scale

模糊标度 s_{ij}	重要程度
1	i 和 j 一样重要
5	i 比 j 较强重要
9	i 比 j 绝对重要

根据基本定义,当重要程度介于给定标准之间时,模糊标度也可取中间值,如: 2、3、4、6、7、8。另外,

$$s_{ji} = 1/s_{ij} \quad (6)$$

对于形成的模糊权值矩阵,求出其最大特征值对应的特征向量,并归一化处理,可以得到整体指标的权值向量

$$f = [f_1, f_2, \dots, f_m] \quad (7)$$

对于子指标,也可继续构建模糊权值矩阵,继续求出其最大特征值对应的特征向量,进行归一化处理,得到子指标的权值向量

$$f_i = [f_{i1}, f_{i2}, \dots, f_{ih}] \quad (8)$$

根据 AHP 法,合成评价指标 t_{ij} 的权值

$$w_{ij} = f_i \times f_{ij} \quad (9)$$

3) 计算每个解方案的综合评价指标。

对于被评价建议解方案 m_k ($1 \leq k \leq l$) 的每个评

价指标 t_{ij} , 根据表 3 所示的评价体系,都将得到评价价值 $\widetilde{n}_{ijk} = (n_{ijk}^-, n_{ijk}, n_{ijk}^+)$ 。

表 3 满意度的模糊表示

Tab. 3 Fuzzy representation of satisfaction

评值	隶属度	满意度
1	(0.75, 1, 1)	非常满意
0.75	(0.5, 0.75, 1)	比较满意
0.5	(0.25, 0.5, 0.75)	基本满意
0.25	(0, 0.25, 0.5)	稍微满意
0	(0, 0, 0.25)	不满意

结合指标的权值,可得综合评价指标

$$N_K = (n_K^-, n_K, n_K^+) = \sum_i \sum_j w_{ij} \times \widetilde{n}_{ijk} \quad (10)$$

4) 求解相对优度。

首先要确定好最优解和最劣解,分别设定为

$$\left. \begin{aligned} N_{\max} &= (n_{\max}^-, n_{\max}, n_{\max}^+) = \\ &= (\max_{1 \leq k \leq l} n_K^-, \max_{1 \leq k \leq l} n_K, \max_{1 \leq k \leq l} n_K^+) \\ N_{\min} &= (n_{\min}^-, n_{\min}, n_{\min}^+) = \\ &= (\min_{1 \leq k \leq l} n_K^-, \min_{1 \leq k \leq l} n_K, \min_{1 \leq k \leq l} n_K^+) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

相对优度

$$E_K = \frac{R_K^-}{R_K^- + R_K^+} \quad (12)$$

其中, R_K^+ 和 R_K^- 分别表示解方案 m_K 的综合评价指标 N_K 与最优解 $N_{\max}$ 和最劣解 $N_{\min}$ 的欧式距离。

3 应用实例

能够帮助盲人恢复视觉的假体装置近来已成为研究热点^[9], 视神经假体是其中的一种重要类型, 它通过外部摄像头获取图像信息, 再经图像处理、编码, 实现对视神经施加电脉冲刺激的效果, 以此使假体的使用者得到视觉感受。本文以视神经假体为研究对象, 根据生物领域的人眼视觉功能模型^[10], 在工程领域中检索知识元, 然后使用所提出方法完成设计综合的过程。

3.1 功能综合

首先分析人眼的视觉系统, 它的基本功能包括成像、调节视角与清晰度, 作用过程是由大脑对视觉信号进行处理分析, 进而反馈性地调整入射光强度与角度。以图 4 中所示的功能为检索要件, 在知识元库中获得所需的知识元聚类结果。

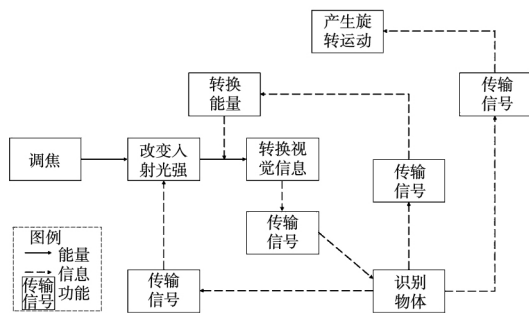


图 4 视觉系统的功能模型

Fig. 4 Functional model of the visual system

对所得到的知识元集合进行基于功能的自由组合,以此构建起表 4 所示的知识元链 KL_i ($i = 1, 2, \dots, 26$)。

3.2 行为验证

要对所有初步解方案的行为参数进行验证,首先将各个知识元模型中行为模块的输入输出参数提取出来,以知识元链 KL_1 为例,它的行为参数如图 5 所示。

表 4 初步解方案

Tab. 4 Preliminary solutions

功能	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7
知识元链	调焦	改变入射光强	转换视觉信息	传输信号	识别物体	转换能量	产生旋转运动
KL_1	K_{11} 薄片结构	K_{21} 光圈	K_{32} CCD	K_{41} 蓝牙	K_{51} 成像设备	K_{61} 电致伸缩	K_{71} 旋转电机
KL_2	K_{11} 薄片结构	K_{21} 光圈	K_{31} CMOS	K_{44} 无线	K_{51} 成像设备	K_{66} 音圈电机	K_{72} 液压缸
KL_3	K_{11} 薄片结构	K_{22} 光致变色镜	K_{32} CCD	K_{41} 蓝牙	K_{51} 成像设备	K_{66} 音圈电机	K_{72} 液压缸
KL_4	K_{13} 光电透镜	K_{22} 光致变色镜	K_{31} CMOS	K_{43} 光纤	K_{51} 成像设备	K_{61} 电致伸缩	K_{71} 旋转电机
KL_5	K_{12} 充液透镜	K_{22} 光致变色镜	K_{31} CMOS	K_{41} 蓝牙	K_{51} 成像设备	K_{65} 人工肌肉	K_{71} 旋转电机
KL_6	K_{11} 薄片结构	K_{22} 光致变色镜	K_{32} CCD	K_{41} 蓝牙	K_{51} 成像设备	K_{65} 人工肌肉	K_{71} 旋转电机
$\vdots$				$\vdots$			

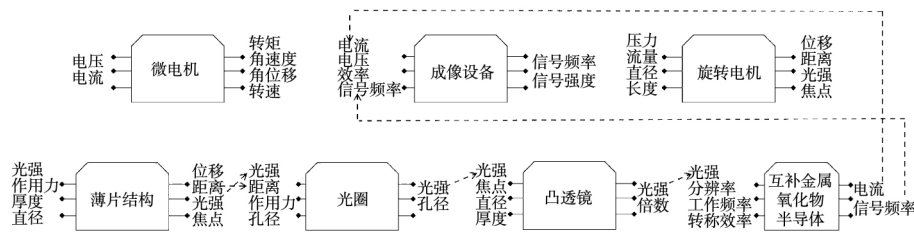


图 5 初步解方案的行为参数

Fig. 5 Behavioral parameters of the preliminary solution

在知识元链的层面作推理:依次判断输入输出参数之间的映射关系,以及其是否能够满足给定的邻接参变量约束推理条件。以此为依据,对所有初步解方案保留或删减,得到建议解方案 KL_i ($i = 1, 2, \dots, 16$)。

3.3 结构评价

根据解方案的特点,设置指标体系

$T = \{ \text{经济, 技术, 生物兼容} \}$ (13)

继续构建子指标

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= \{ \text{装配, 零件} \} \\ t_2 &= \{ \text{功能, 可靠, 创新, 轻量, 结构} \} \\ t_3 &= \{ \text{材料, 生物} \} \end{aligned} \right\}$$
 (14)

由专家打分,得到整体指标的权值向量

$f = (0.12, 0.64, 0.24)$ (15)

以及子指标的权值向量

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= (0.83, 0.17) \\ f_2 &= (0.38, 0.14, 0.32, 0.11, 0.05) \\ f_3 &= (0.80, 0.20) \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

可得评价指标 t_{ij} 的权值

$$\{w_{11}, w_{12}, w_{21}, w_{22}, w_{23}, w_{24}, w_{25}, w_{31}, w_{32}\} = \{0.101, 0.021, 0.279, 0.078, 0.201, 0.058, 0.032, 0.184, 0.046\} \quad (17)$$

对建议解方案作模糊三角评价,获得表5所示的满意度数值,再结合权值,算出综合评价指标列。

以方案 KL_1 为例: 1) $n_1^- = 0.101 \times 0.5 + 0.021 \times$

$$0.5 + 0.279 \times 0.75 + 0.078 \times 0.5 + 0.201 \times 0.25 + 0.058 \times 0.5 + 0.032 \times 0.5 = 0.40; 2) n_1 = 0.101 \times 0.75 + 0.021 \times 0.75 + 0.279 \times 1 + 0.078 \times 0.75 + 0.201 \times 0.5 + 0.058 \times 0.75 + 0.032 \times 0.75 + 0.184 \times 0.25 + 0.046 \times 0.25 = 0.65; 3) n_1^+ = 0.101 \times 1 + 0.021 \times 1 + 0.279 \times 1 + 0.078 \times 1 + 0.201 \times 0.75 + 0.058 \times 1 + 0.032 \times 1 + 0.184 \times 0.5 + 0.046 \times 0.5 = 0.83。$$

最后,求得各个解方案的相对优度: $E_1 = 0.96, E_2 = 1, E_3 = 0.54, E_4 = 0.34, E_5 = 0.30, E_6 = 0 \dots\dots$

表5 解方案的满意度与综合评价指标

Tab. 5 Satisfaction and comprehensive evaluation indicators of solutions

	t_{11}	t_{12}	t_{21}	t_{22}	t_{23}	t_{24}	t_{25}	t_{31}	t_{32}	N_K
KL_1	0.75	0.75	1	0.75	0.5	0.75	0.75	0.25	0.25	(0.40, 0.65, 0.83)
KL_2	0.25	0.5	1	0.75	0.5	1	0.75	0.5	0.25	(0.41, 0.66, 0.83)
KL_3	0.25	0.5	1	0.75	0.5	0.5	0.25	0.25	0.25	(0.32, 0.57, 0.75)
KL_4	0.5	0.25	1	1	0.5	0	0.25	0	0	(0.34, 0.52, 0.68)
KL_5	0.25	0.25	1	0.5	0.5	0.25	0	0.25	0.25	(0.28, 0.52, 0.70)
KL_6	0.5	0.75	1	0	0	0.75	0	0.25	0.25	(0.27, 0.45, 0.63)
.....										

3.4 解方案的获得与讨论

至此,如图6所示,可将设计综合方法应用在视觉假体的开发过程中。

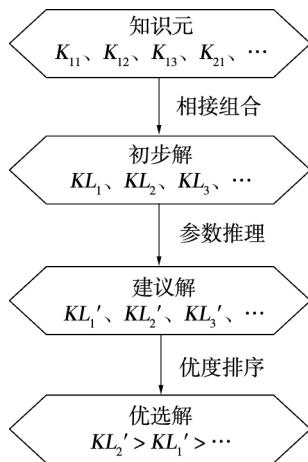


图6 设计综合方法的应用过程

Fig. 6 Application process of design synthesis method

因此,可根据排序将 KL_2 拟定为优选解。由其出发搭建出如图7所示的视神经假体装置概念设计方案。其工作原理为:微电机控制光圈的大小,以调节入射光线强度,并微调凸透镜在互补金属氧化物半导体上成像的大小。光信号被转换为电信号后,

传输到图像处理器,分析的结果继续传至控制器,用于操作旋转电机执行运动命令,从而使被观察物体保持于视野中心,同时也控制着微电机的调焦过程,综合作用实现清晰成像。该方案尽可能地降低了假体装置对植入者的不良影响。

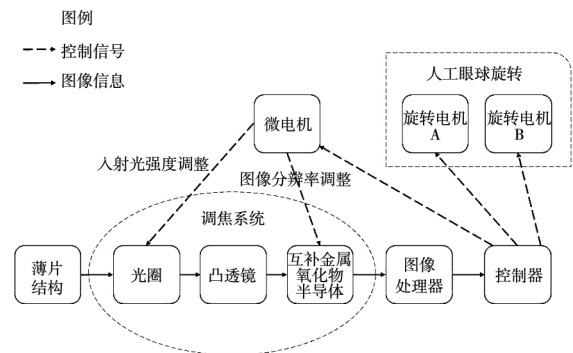


图7 视神经假体装置概念设计方案

Fig. 7 Conceptual design for optic nerve prosthesis device

当然,如果从排序紧随 KL_2 其后的知识元链 KL_1 等出发,也可以得到较为满意的解方案。这就是说,本文所提的设计综合方法可以支持一系列生物激励解方案的生成。并且,就方法整体而言,以功能为目标的知识元自由组合提供了设计的新颖性,

对行为参数及其约束的验证保障了设计的可行性, 考虑结构的体系化指标评价给出了设计的质量, 从而保证了以知识元库规模为基础的设计多样性。

4 结 论

为了解决生物激励设计过程中概念解方案生成的问题, 本文提出了支持生物激励解方案生成的设计综合方法, 其分为3个步骤: 基于功能的初步设计综合, 实现知识元的连接; 基于行为的初步解方案推理验证, 检验知识元链是否满足邻接变量约束; 基于结构的建议解方案综合评价, 根据相对优度获得解方案的排序。其中, 最重要的是对行为参数的验证, 这限制了设计解方案生成过程中解方案数量爆炸的可能。

以视觉假体装置为例, 将所提出的方法应用于设计综合过程, 最终得到了可行的创新解方案, 由此验证了本文方法的实用性和对生物激励设计的支持。该设计综合方法还可供其他涉及到跨领域知识重用问题的产品设计开发案例参考。

参 考 文 献:

- [1] HELMS M, VATTAM S S, GOEL A K. Biologically Inspired Design: Process and Products [J]. Design Studies, 2009, 30(5): 606.
- [2] WILSON J, CHANG P, YIM S, et al. Developing a Bio-inspired Design Repository Using Ontologies [C] // ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. American Society of Mechanical Engineers, 2009: 799.
- [3] 吉祥, 顾新建, 代风, 等. 基于 BioTRIZ 的产品创新设计过程 [J]. 浙江大学学报(工学版), 2014, 48(1): 35.
JI Xiang, GU Xinjian, DAI Feng, et al. Bio TRIZ based product innovative design process [J]. Journal of Zhejiang University, 2014, 48(1): 35.
- [4] 赵燕江, 王瑞雪, 张永德, 等. 应用 TRIZ 理论的套管柔性针刺机构设计 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2016, 21(5): 1.
ZHAO Yanjiang, WANG Ruixue, ZHANG Yongde, et al. Insertion Mechanism Design for Cannula Flexible Needle Using TRIZ Theory [J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2016, 21(5): 1.
- [5] LIU X M, HUANG S P, CHEN Y T. Research and Application: Conceptual Integrated Model Based on TRIZ and Bionics for Product Innovation [J]. International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), 2017, 11(2): 341.
- [6] CHRISTOPHE F, BERNARD A, é. Coatanéa. RFBS: A Model for Knowledge Representation of Conceptual Design [J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2010, 59(1): 155.
- [7] CHEONG H, SHU L H. Retrieving Causally Related Functions from Natural-language Text for Biomimetic Design [J]. Journal of Mechanical Design, 2014, 136(8): 081008.
- [8] KURTOGLU T, SWANTNER A, CAMPBELL M I. Automating the Conceptual Design Process: From black box to component selection [J]. AI EDAM, 2010, 24(1): 49.
- [9] 胡洁, 马进, 戚进, 等. 生物激励的知识建模与创新类推方法 [J]. 机械工程学报, 2017, 53(15): 21.
HU Jie, MA Jin, QI Jin, et al. Knowledge Modelling and Innovative Analogy Methodology of Biologically Inspired Design [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2017, 53(15): 21.
- [10] 张路蓬. 基于创新网络的协同创新机制研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2016.
- [11] 沈健, 胡洁, 马进, 等. 支持生物激励设计的跨领域知识元聚类方法 [J]. 河北科技大学学报, 2017, 38(3): 229.
SHEN Jian, HU Jie, MA Jin, et al. Cross Domain Knowledge Cell Clustering Method for Biologically Inspired Design [J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2017, 38(3): 229.
- [12] 张和明, 熊光楞. 产品需求获取及其结构化建模方法 [J]. 计算机集成制造系统, 2001, 7(10): 18.
ZHANG Heming, XIONG Guangleng. Product Requirements Capturing and Structurally Modeling [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2001, 7(10): 18.
- [13] HU J, MA J, FENG J F, et al. Research on New Creative Conceptual Design System Using Adapted Case-based Reasoning Technique [J]. AI EDAM, 2017, 31(1): 16.
- [14] 应湘怡. 基于实例推理的转向架设计 [D]. 成都: 西南交通大学, 2017.
- [15] MA J, HU J, FENG J F, et al. Constrained FBS Knowledge Cell Model, Representation, and Applications for Conceptual Design [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2016, 230(11): 1773.
- [16] 赵辉, 刘娜, 周永勤. 模糊综合评判在电池性能检测中的应用 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2018, 23(3): 143.
ZHAO Hui, LIU Na, ZHOU Yongqin. The Application of Fuzzy Comprehensive Evaluation on the Battery Performance [J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2018, 23(3): 143.
- [17] 张文宇, 马月, 陈星, 等. 基于粗糙集与 AHP 结合的属性权重确定方法 [J]. 测控技术, 2013, 32(10): 125.
ZHANG Wenyu, MA Yue, CHEN Xing, et al. Combined with Rough Set and AHP to Determine the Attribute Weight [J]. Measurement & Control Technology, 2013, 32(10): 125.
- [18] 张芳兰, 杨明朗, 刘卫东. 基于模糊 TOPSIS 方法的汽车形态设计方案评价 [J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(2): 276.
ZHANG Fanglan, YANG Minglang, LIU Weidong. Evaluation of Automobile form Design Based on Fuzzy TOPSIS [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2014, 20(2): 276.
- [19] 闫妍, 柴新禹, 陈焱, 等. 视觉假体的研究进展 [J]. 生理学报, 2016, 68(5): 628.
YAN Yan, CHAI Xinyu, CHEN Yao, et al. Research Progress of Visual Prosthesis [J]. Acta Physiologica Sinica, 2016, 68(5): 628.
- [20] 张阳. 仿人眼的结构原理和关键视觉技术研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2011.

(编辑: 温泽宇)