

基于满意度原理的装载机工作装置 的多目标优化设计*

黄洪钟

(大连理工大学机械工程学院 大连 116023)

姚新胜 周仲荣

(西南交通大学)

摘要: 分析了装载机工作装置单目标优化设计的不合理性。根据装载机工作装置的设计要求, 建立了装载机工作装置的多目标优化设计的数学模型。定义了广义满意度等概念, 分析了其主要特性。建立了基于满意度原理的多目标优化理论。给出了集神经网络、遗传算法于一体的装载机工作装置的满意优化设计方法。实例分析表明: 该方法不仅可提高设计质量, 而且更能反映设计人员和用户的需求, 它可为装载机工作装置以及其他机械产品的设计提供一种新的途径。

关键词: 装载机工作装置 满意度 满意优化 机械设计

中图分类号: TH122

0 前言

装载机主要用来装卸成堆散料, 也可用来进行轻度的铲掘作业。它是一种作业效率高、用途广泛的工程机械, 已被广泛用于建筑、矿山、道路和水电等国民经济领域。工作装置是装载机上直接实现铲装物料的机构, 其结构和性能对整机的工作尺寸、性能参数、发动机功率及生产率等都有显著影响, 因此它的设计在整机设计中占有十分重要的地位。目前工作装置的设计多数是在一些假设和修改设计要求的基础上, 把问题简化为单目标优化进行的, 从而不易获得各项指标都较满意的设计方案^[1,2]。

装载机工作装置的设计本质上是一个多目标优化问题。多目标优化由于各目标之间往往存在矛盾, 要求各个目标同时都达到最优一般较困难, 因此最优解不一定存在。基于满意度原理的多目标满意优化, 在求解过程中追求满意而不是最优, 在一定程度上完善了多目标优化的理论和方法体系。对于一些多目标优化问题, 应用多目标满意优化设计方法可以得到令用户满意的解^[3,4]。

在对装载机工作装置的设计要求进行分析之后, 建立了装载机工作装置的多目标优化设计的数学模型。定义了广义满意度等概念, 分析了其主要特性。建立了基于满意度原理的多目标优化理论。给出了集神经网络、遗传算法于一体的装载机工作装置的满意优化设计方法。

装载机工作装置具有多种结构形式, 其中转斗缸后置式反转六杆机构使用最为普及。该机构具有易获取较大掘起力、良好铲斗平移性, 容易实现铲斗的自动放平等优点。因此, 以 ZL50 型装载机的反转六杆机构作为研究对象。

1 设计要求

通过对装载机作业进行分析, 可知对装载机工作装置的设计要求主要包括以下几方面^[5,6]。

- (1) 铲运功能 铲斗的运动轨迹应符合作业要求, 并能正常完成铲掘、装载功能。
- (2) 平移性 动臂在提升过程中, 铲斗应保持平移运动, 以免斗中物料撒落。
- (3) 掘起力 希望铲掘力大, 且铲掘时掘起力变化规律应符合工作要求。
- (4) 干涉性 工作机构各构件之间不允许发生运动干涉。
- (5) 传动角 传动角符合某限制范围, 以保证工作装置的传力性能良好。
- (6) 机构效率 机构传动省力, 作业时消耗功率应尽量小。
- (7) 自动放平 从最高位置到最低位置, 铲斗应能自动呈插入料堆状态。
- (8) 卸载性 应满足卸载高度和卸载距离要求, 以保证动臂在任何位置都能卸净物料。
- (9) 总体布置要求 工作装置的极限工作空间、最大卸料高度及最大卸料距离应满足整机性能要求。
- (10) 在满足作业要求的前提下, 工作结构应简单、自重要轻、受力应合理和强度要高等。

* 教育部优秀青年教师资助计划(1766)、国家自然科学基金(高技术新概念新构思探索)(59685003)和广西柳工机械股份有限公司资助项目。
20020625 收到初稿, 20021127 收到修改稿

2 数学模型

2.1 计算模型

选择机架作为反转六杆机构工作装置的运动参考系，建立如图 1 所示的平面直角坐标系 Oxy 及工作装置的计算模型^[5]。

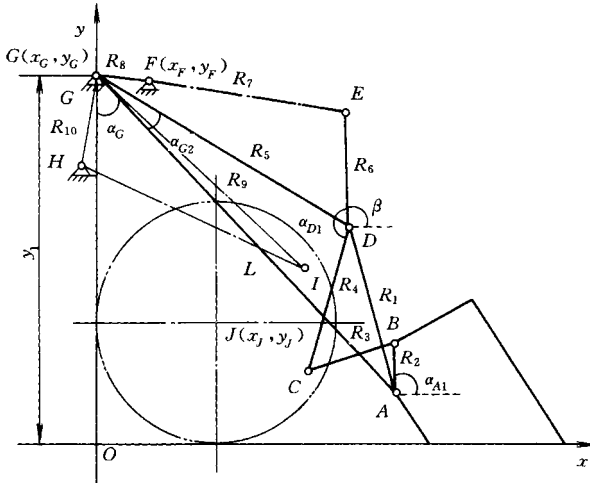


图 1 工作装置的计算模型简图

选择地面铲掘工况插入工况作为装载机工作装置的标定分析工况。此时，动臂下放至下限位置， $\alpha_G = \alpha_{G4}$ ，取 $\alpha = 0$ 。另外也考虑下面几个工况。

- (1) 下限收斗工况，操作转斗缸实现收斗作业过程， $\alpha_G = \alpha_{G4}$ ，取 $\alpha = 45^\circ$ 。
- (2) 重载运输工况，转斗缸闭锁，举升动臂， $\alpha_G = \alpha_{G7}$ ，取 $\alpha = 45^\circ$ 。
- (3) 上限举升工况，保持转斗缸长度不变，操作举升缸， $\alpha_G = \alpha_{G6}$ ，取 $\alpha = 45^\circ$ 。
- (4) 上限卸料工况，在上限举升工况，操作转斗缸翻转铲斗， $\alpha_G = \alpha_{G6}$ ， $\alpha = -45^\circ$ 。

这里变量的物理意义和图中对应，或者参见下述说明，文中不再赘述。

部分符号说明

- R_{11} —— 前车轮轮胎半径
- α —— 动臂位置角
- α_0 —— 下限位置铲斗位置角
- α_{A2} —— 动臂 $\triangle AGD$ 中的 $\angle ADG$ 夹角
- α_B —— 铲斗四连杆机构的传动角
- α_{D2} —— 动臂 $\triangle AGD$ 的 $\angle ADG$ 夹角
- D_1 —— 最小卸载距离
- H —— 最大卸载高度
- l_3 —— 铲斗斗底长度
- d_5 —— 铲斗下挖深度
- α_{G6} —— 动臂上限位置角

- α_{G7} —— 动臂运输位置角
- α_{G64} —— 动臂的回摆角
- α_{G4} —— 动臂下限位置角
- α_{G5} —— GH 与 y 轴所夹的锐角
- l_4 —— 下限位置时 A 点离铲斗斗尖的水平长度
- α_{D4} —— 前轮中心 J 和 D 点 A 点的夹角 $\angle JDA$
- α_{D3} —— 地面铲掘工况时的 $\angle GDE$
- α_{G40} —— 铲斗具有下挖深度时的动臂位置角
- α_{A10} —— 下限位置 AB 边和 x 轴的正向夹角
- h_3 —— 地面铲掘工况时，动臂下铰接点 A 的离地高度
- h_4 —— 运输工况时，动臂下铰接点 A 的离地高度

2.2 输入参数

装载机整机设计确定了一些参数，在工作装置的设计过程中，这些参数作为固定量将不再发生变化，包括 R_{11} 、 h_1 、 h_3 、 h_4 、 d_1 、 h_2 、 l_3 、 d_5 、 x_J 、 y_J 等。

2.3 设计变量

求解中存在两类变量。第一类是待定的主要结构参数；第二类是和在工作装置动态特性相关的变量。

$$x_1 = \{R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_{7\min}, x_F, y_F, \alpha_{D1}, \alpha_{G2}\}$$

$$x_2 = \{\alpha, \alpha_G\}$$

2.4 目标函数

下面是几个主要的目标函数，为了突出主要设计目标，设计要求中的另外一些目标函数降为约束条件处理。

(1) 连杆机构传力比最大

连杆机构的传力比是指单位转斗缸力所获得的铲斗掘起力。采用产生单位掘起力的最小转斗液压缸作用力作为目标

$$\min \mu_F = \frac{R_4 H_4 \sin \alpha_C}{R_2 R_6 \sin \alpha_B \sin \alpha_E}$$

一般近似地认为最大的铲掘力发生在下限位置铲掘工况，即 $\alpha = 0$ ； $\alpha_{G1} = \alpha_{G4}$ 。

(2) 铲斗平移性

平移性是指在动臂举升过程中的铲斗收斗角的变化特性。要求在运输工况下尽量保持平移，这里取运输过程中铲斗角的变化最小作为目标

$$\min \left. \frac{d\alpha}{d\alpha_G} \right|_{\alpha_{G4} \leq \alpha_G \leq \alpha_{G6}}$$

(3) 铲斗自动放平性

自动放平在几何上是保证卸料和铲掘两工况下的转斗液压缸长度尽量相同，此目标函数表示为

$$\min \frac{|R_{73} - R_{70}|}{R_{70}}$$

2.5 约束条件

边界约束

在分析同类机型工作装置现有结构尺寸的基础上, 估计最优解可能出现的范围, 使边界约束的中心尽量靠近最优解, 建立边界约束条件为

$$x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max} \quad i = 1, 2, \dots, 11$$

性能约束

(1) 几何约束

要求满足连杆机构运动的协调性、几何的合理性, 避免可能存在的运动干涉及“死点”位置等。

(2) 平移性要求

除了前面已经存在的平移性目标外, 为保证铲斗装满物料, 根据铲斗及机构形式的不同, 下限收斗角一般取为 $40^\circ \sim 45^\circ$; 为保证运输中不撒落或少撒落物料, 运输位置时铲斗的收斗角应大于 46° ; 上限位置时, 铲斗的收斗角应该小于 62° , 约束如下

$$\begin{aligned} \gamma \Big|_{\alpha_G = \alpha_{G7}} &< 62^\circ \\ \gamma \Big|_{\alpha_G = \alpha_{G6}} &< 46^\circ \\ 40^\circ \leq \gamma \Big|_{\alpha_G = \alpha_{G4}} &< 45^\circ \end{aligned}$$

(3) 靠挡块约束

靠挡块是指动臂从下限位置到运输位置过程中, 铲斗始终靠在动臂的挡块上, 具有保护工作装置其他薄弱构件不遭损坏、避免因运输中出现铲斗点头现象而撒落物料等优点。

(4) 卸料性约束

动臂在任意位置时, 通过转斗液压缸动作, 希望铲斗均能达到 45° 卸料角, 动臂举升过程中, 铲斗力矩变化要平缓。

(5) 传动角约束

最大传动角小于 170° , 最小传动角大于 10° , 即

$$10^\circ \leq \alpha_B \leq 170^\circ$$

(6) 液压缸稳定性约束, 伸缩比例小于 1.6, 即

$$\frac{R_{73}}{R_{71}} < 1.6$$

(7) 总体布置约束

主要包括卸载高度和卸载距离的校核。根据总体要求, 设计的动臂长度在上限位置卸料时, 应该满足用户要求的卸载距离 H_1 和卸载高度 H_2 。

(8) 其他约束

装载机工作装置的设计, 存在的约束比较多, 其他约束就不逐一分析^[2,5]。

3 广义满意度原理

满意概念包括两个层次的内涵。一是针对优化理论的满意理论, 满意理论作为优化理论的更一般形式出现, 它的完善和发展必将为人们解决实际问题提供一种新的手段, 限于篇幅对此不作介绍。二是将针对优化过程寻求最优解修改为寻求满意解, 即满意优化, 这部分工作主要是对优化理论和方法的某部分进行改进, 可算是优化理论到满意理论的过渡。针对这部分, 以满意度原理为核心展开讨论。

定义 1 满意标准: 用来衡量用户对问题的解的满意程度的一个基准体系。满意标准可以是模糊的, 也可以是精确的。

性质 1 主观性: 满意标准需要由用户根据对具体问题的侧重点不同加以确定。

性质 2 多重性: 对同一个问题可以具有多个满意标准。

例如

$$B = \begin{cases} c_{\text{score}}/100 & c_{\text{score}} \geq 60 \\ 0 & c_{\text{score}} < 60 \end{cases}$$

可以作为对学生成绩的一个满意标准, 表示用 100 分制表示学生成绩时, 如果学生成绩 c_{score} 小于 60 分, 则绝对不满意; 如果 c_{score} 大于 60 分, 其满意程度为 $c_{\text{score}}/100$ 。

定义 2 满意序: 在某满意标准下, 每个可行解存在一个唯一的评价结果, 如果任何两个可行解的评价结果之间存在如下的偏序关系, 那么就称这个偏序关系为满意序。

(1) 有序性

任意两个解 d_1 、 d_2 , 对应 S 中的象为 s_1 、 s_2 。

如果 $s_1 > s_2$, 用户对解 d_1 的满意程度高于对解 d_2 的满意程度, 即对问题而言, d_1 是比 d_2 好的解。

如果 $s_1 < s_2$, 用户对解 d_1 的满意程度低于对解 d_2 的满意程度, 即对问题而言, d_1 是比 d_2 劣的解。

如果 $s_1 = s_2$, 用户对解 d_1 的满意程度等于对解 d_2 的满意程度, 即对问题而言, d_1 和 d_2 两个解具有同等的满意效果。

(2) 传递性

对于三个解 d_1 、 d_2 、 d_3 , 如果 $s_1 \# s_2$, $s_2 \# s_3$, 则 $s_1 \# s_3$, 其中 $\#$ 代表 $<$ 、 $>$ 、 \leq 、 \geq 、 $=$ 。

满意序是偏序的特殊应用。

定义 3 满意度: 对于用户给定的问题 P , 其可行域为 D , d 是 D 的元素, 即可行解, 在一定的

满意标准 C 下, 存在一个从可行解集合 D 到解的评价集合 S 的映射

$$f: D \rightarrow S$$

且 S 具有满意序, 那么 $s \in S$ 被称为解 d 在准则 C 下用户对解 d 的满意度, S 被称为满意度集合。

例如: 对前面的学生成绩, 依据满意标准, 其满意度函数可表示为如下形式

$$s = \begin{cases} c/100 & c \geq 60 \\ 0 & c < 60 \end{cases}$$

这里不要求满意度集合的完备性。

由满意度的定义可以看出, 它还有以下性质:

(1) 相对性 满意度是在给定满意标准下的满意度。一个问题可能存在多个满意标准, 对于不同的标准, 满意度可能不同。同时对一个独立的解, 其满意度是没有意义的。只有讨论两个或两个以上解时, 满意度才有意义。

(2) 普遍性 满意度的定义没有限定其具体的数学表现形式, 目的就是定义本身只需要体现其内涵, 至于其表现形式, 完全可以根据问题本身由用户确定。

定义 4 满意度水平: 简称满意水平, 在一定的满意标准下, 每个可行解都具有一个满意度, 设 s_1 为一个满意度, 如果用户(决策者)对 s_1 所对应的解满意, 根据满意度和满意序的定义, 将对所有这个满意度之上的可行解满意, 那么称 s_1 为一个满意度水平。

定义 5 满意解: 在一定的满意标准下, 对于一满意水平 λ , 如果一个解 d 的满意度具有或超过满意水平 λ , 即

$$s(d) \geq \lambda$$

就称解 d 为 λ 满意水平下的满意解。

定义 6 满意解集: 具有 λ 满意水平的解的集合 $U(F, \lambda) = \{s | s(u) > \lambda\}$, 称为满意水平 λ 下的满意解集。

定义 7 独立满意度: 一个独立问题的满意度称为独立满意度。

图 2 列出了独立满意度的几种可能形式。

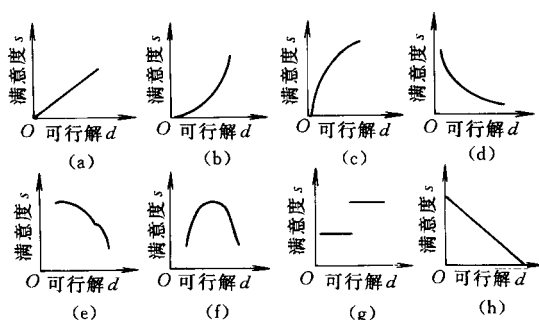


图 2 独立满意度的几种可能形式

定义 8 复合满意度 对于一个由若干子问题组成的复合问题, 其满意度称为复合满意度, 复合满意度是各子问题满意度的合成。

4 基于广义满意度原理的多目标优化

正如前面所说, 广义满意度概念是针对最优性、最大化和最大效用提出的。满意度是比最优性、最大化和最大效用更具有实用意义的概念, 更能体现人类的需求, 因此可以应用在诸如设计、决策和控制等领域。

4.1 问题的提出

多目标优化问题的一般形式如下

$$\begin{aligned} V - \min_{x \in R^n} F(x) &= \min_{x \in R^n} [f_1(x), f_2(x), \dots, f_l(x)]^T \\ \text{s.t. } g_j(x) &\leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, p \\ h_k(x) &= 0 \quad k = 1, 2, \dots, q \end{aligned}$$

式中 $F(x)$ ——矢量目标函数

$$F(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_l(x)]^T$$

$V - \min_{x \in R^n} F(x)$ ——多目标极小化模型(矢量形式)的简写

$V - \min$ ——矢量极小化, 目标函数可以同等, 也可以不同等被极小化

多目标优化问题要求各个目标都达到最优一般较难, 尤其是各目标之间存在矛盾, 即各目标的解具有冲突性时, 往往最优解并不存在。如机械设计中的重量最轻和强度最高就经常是相互矛盾的目标。近年来, 国内外学者对此做了许多研究, 也提出了一些解决方法, 主要是工程应用方法。但和单目标优化设计问题相比, 多目标优化在理论上和计算方法上都还很不完善, 也不够系统。因此, 建立一套衡量多目标优化解的质量的知识体系, 进而建立完善的多目标优化理论和方法体系就很有必要。

4.2 定义、定理

定义 9 目标满意度: 对于一个优化问题, 存在一个或多个目标函数, 其一可行解对于某目标函数满足的程度称为此解对该目标的目标满意度。

定义 10 约束满足度: 对于一个约束优化问题, 约束条件是必须满足的, 一个可行解符合某个约束条件的程度被称为对这个约束的约束满足度。

定义 11 多目标优化问题的满意度: 问题的解同时满足多个目标和多个约束的程度, 记为 $S(F, f)$ 。

命题 1 多目标优化问题满意解的存在性: 如

果多目标优化问题存在可行解, 那么在某满意标准下, 一定存在满足某一满意水平的满意解。即对于多目标优化问题 F , x 为变量,

如果 $X_p \neq \Phi, \exists x_s$ 和 s :

使

$$\{x_s | s(x_s) > s, x_s \in X_p\} \neq \Phi$$

式中 X_p ——可行解集

x_s ——满意解

4.3 求解过程

多目标优化问题可以看作是多个单目标优化问题的一种非简单组合(即可能不是简单的算术组合)。这里采取经典的还原法, 把多目标优化问题进行合理分解后再综合, 以求得原问题的解。下面给出基于满意度的多目标优化问题的一般求解步骤。

(1) 对问题进行分解。一个复杂问题的最后的满意度需要由其子问题或因因素集中的因素的满意度组合而成。问题的分解需要保证解空间的等价性。

(2) 单独求出每个子问题的解, 并根据具体问题, 建立相应的独立满意度函数。

(3) 根据具体问题, 写出综合满意度的函数表达式, 把综合满意度作为整个优化问题的新目标函数。

(4) 采取冲突让步策略不断调整综合满意水平, 调用步骤(5)和(6)进行阶段性求解和评价, 直至求出最大满意水平对应的解集。

(5) 采用具体的求解策略求解(可采用遗传算法、神经网络等算法)。

(6) 对多目标优化的满意解进行评价。

可以看出, 问题的分解和满意度的组合是整个算法的重点, 因此下面对其予以详细讨论。

综合满意度需要满足一些基本的组合原则, 这些原则确定了原问题分解后原问题和子问题的组合关系。可以采用所谓的“最大/最小”, “权重组合”、“权重调解”以及其他合适的组合原则。

最大/最小原则: 把子问题的最大或最小的满意度作为综合问题的满意度。

权重组合原则: 按照权重计算合成关系, 由子问题的满意度合成综合问题的满意度。

冲突调解原则: 对于相互冲突的子问题, 采用冲突让步、协调策略合成综合满意度。

由于子问题合成原问题的方式和侧重点以及作用大小各不相同, 因此应该分别对待各种情况。

(1) 对于简单均匀性的问题, 即各个子问题对综合问题的作用、重要性处于同一等级, 其差别可

能只是份额不同而已, 此时一般采取线性加权法。线性加权法的难度在于权重比例的分配, 它可通过以下方法实现: ①根据专家知识、经验数据、统计结果以及问题的性质由用户直接给定权重, 此方法相对简单。②给出子问题两两之间的相对重要(权重)关系, 形成关系矩阵, 求出其特征矢量并归一化为其权重。③动态确定, 不是在权重确定后才进行分析, 而把权重也看作参数, 进行优化的同时进行二级参数优化, 对于不同的权重组合给出一系列的结果, 最后由用户选择。

一般的线性加权法求满意度可以表示为

$$\sum_{i=1}^m w_i s_{ij}$$

式中 i ——权重序号

j ——子问题序号

用 E_j 代表备选方案, P_m 代表子问题, w_m 代表子问题的权重, 所有备选方案的满意度组合的矩阵表示形式如下

$$\begin{matrix} & P_1 & P_2 & \dots & P_m \\ \begin{matrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1m} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ s_{n1} & s_{n2} & \dots & s_{nm} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_m \end{bmatrix} \end{matrix}$$

(2) 对于层次性较强的问题, 即子问题有优先级的情况, 可以考虑应用层次分析法的思想。首先把子问题进行分层, 然后从子问题的最高层次到最低层次依次执行与(1)类似的处理, 其区别在于, 每个层次处理的问题规模不同, 处理高层次问题(暂时)不(少)考虑低层次问题的求解, 处理低层次问题时, 高层次问题的解作为已知情况处理。如果处理了高层次问题后不能满足或不能求出低层次问题, 则需反复循环进行处理。

(3) 对于一些强子问题, 即一些子问题是综合问题中必须满足的, 否则问题就认为无解, 其处理的方法类似于(2), 基本上是采取分层处理。对于强子问题, 处理的方法是不关心其他子问题的具体情况, 单独处理。如果强子问题有解, 则继续求解; 否则停止处理, 认为问题无解。在后续处理中, 如果无法或不容易满足其他问题, 不再对强子问题进行反复处理。

(4) 对于一些复杂组合问题, 其结构复杂, 不容易分层或分块, 可以考虑采取图论中相关理论, 如树、图等及其相关算法等。一般问题具有树结构, 即具有典型的层次结构, 处理的方法就是(2)和(3), 层层处理即可。一些问题可能具有复杂的结构, 但

可能是：其主体结构属于树，有少数的交叉图存在树中，方法大致思路：①以树结构(层次结构)处理为主，把其中交叉图进行分解或特殊处理。②以图结构(复杂交叉结构)处理为主，采用图算法。这里也可以参考处理复杂巨系统的一些思路进行处理。

(5) 对待动态问题或一些具有不确定因素的问题，可采用交互式。在处理过程中，不断由系统和决策者进行交互，动态确定权重，直到决策者对解满意为止。

(6) 对于子问题相互冲突的情况，基本上类似于重要程度均匀或权重不同情况，其不同之处在于如何进行冲突调解。

5 基于 BP 神经网络的满意度表示方法

BP 神经网络具有很强的函数映射能力，擅长处理那些规律隐含在一大堆数据中的映射逼近问题。下面参照一些成形装载机工作装置的设计方案，借助存在的设计规范和设计标准以及多年的设计和使用经验，基于 Matlab6.1 的神经网络工具箱，通过 BP 神经网络的映射功能来得到蕴涵的工作装置设计的满意度函数。

5.1 网络的拓扑结构

采用 3 层 BP 网络，其输出为解(设计)的满意度，输入为装载机工作装置连杆机构的设计变量 x_1 。选择第 1 层神经元数等于输入矢量的维数，隐层神经元数可以参考以下方法来确定^[7]。

(1) Kolmogorov 定理： $n_1 = 2n + 1$

(2) $n_1 = \text{lb } n$

(3) $n_1 = \sqrt{n + m} + 1 \sim 10$

式中 n_1 ——隐层单元数

n ——输入层单元数

m ——输出层单元数

按照上面 3 种方法得到 3 个相差很大的数值：23、4 和 5~15。考虑到该神经网络映射的是一个复杂关系，故采用隐层单元数为 15。激励函数可以是任何可微的函数，常用的有 Sigmoid 型和线型，这里前两层采用 Logsig 函数，输出层采用 Purelin 线型函数。网络的拓扑结构如图 3 所示。

5.2 网络的训练

采用 Newff 函数产生网络后，为了加快网络的训练速度，采取归一化 Premnmx 方法对所有的输入数据进行预处理，用 Init(net)函数进行初始化，将网络中线性神经元层的权矩阵 w 和阈值矢量 B 赋予 $[-1, 1]$ 之间的随机数。然后采用批变模式，以缺省的网络输出和实际输出间的均方差 MSE 为

性能函数，采用训练算法 Trainlm 进行训练。训练的目标是使网络性能函数 Net.Performance 达到最小，实现输入输出间的非线性映射。网络训练稳定后，其结构就可用来确定任一设计解的满意度。

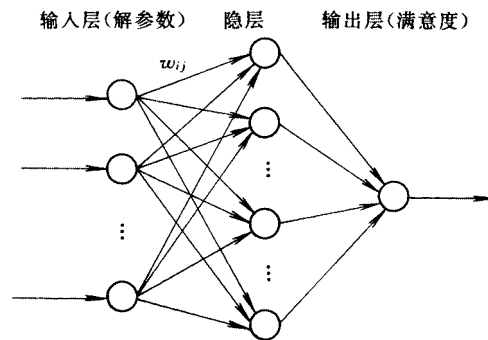


图 3 满意度函数的 BP 网络结构

6 基于遗传算法的求解

6.1 编码

遗传算法不对优化问题的实际决策变量进行直接操作，所以应用遗传算法首要的问题是通过编码将决策变量表示成串结构数据。一般编码方式有二进制编码和浮点数编码两种。二进制编码具有理论分析方便，能充分体现隐性的并行性，缺点是不能直接反映问题的固有结构，精度不高，个体长度大，占用计算机内存多。采用浮点数编码的遗传算法进行函数优化比二进制编码的遗传算法能取得更好的精度和更高的效率。这里采用浮点数编码方案。

6.2 操作算子

选择个体以不断生成下一代是遗传算法中极其重要的一个环节。这里采用轮盘赌选择法选择个体。

采用单点交叉、算术交叉及启发式交叉等交叉算子。单点交叉是随机产生一个小于父代矢量数的正整数，然后在这个数对应的矢量上进行交换而产生下一代。在区间(0, 1)选择一个随机数 r ，算术交叉为

$$x' = rx + (1-r)y$$

$$y' = (1-r)x + ry$$

启发式交叉，对个体进行线性递推，在随机数 r 并且在 x 的适应度函数优于 y 的情况下生成新的个体，如果 x' 不可行，那么产生一个新的随机数 r ，并重新产生一个新的解。

采用的变异方法有以下方法。

(1) 统一变异，随机地选择一个变量 j ，使它等于一个统一的区间 (a_j, b_j) 上的随机数 r_j 。

(2) 边界变异，随机地选择一个变量 j ，使它等于它的上边界或下边界。

(3) 非统一变异, 随机地选择一个变量 j , 使它等于一个非统一的随机数。

(4) 多点非统一变异, 把非统一变异操作作用于父代中的每一个个体元素。

6.3 适应度函数

适应度函数采用前面训练稳定的 BP 网络和目标函数、约束函数综合的形式, 训练结束后生成一个临时函数文件: ZZJGAF。其主函数包括两个参数: 解向量 Sol 以及一些选项 Option, BP 网络进行网络仿真后得到的函数 Val 作为遗传算法的适应度。

进行求解, 得出设计解如下表所示。

表 装载机工作装置满意优化解

变量	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6
值	112.07	42	69.04	82	191.3	40.9
变量	R_{7min}	x_F	y_F	x_G	y_G	满意度
值	105	38	204	0	209	0.87

7 结论

基于多目标满意优化方法, 考虑多个设计要求, 利用问题中隐含的解的质量衡量标准, 参照一些成形装载机工作装置的设计方案, 对装载机工作装置进行了满意优化设计, 得出了工作装置六杆机构的一个满意解。

经过分析, 所述内容被认为是一种合理可行的装载机工作装置的先进设计方法, 为广西柳工集团有限公司技术中心的产品设计能力的提高起到了一定的作用, 得到了广西柳工集团有限公司技术中心的认可。此方法不仅可以提高设计质量, 反映设计人员和用户的需求, 而且还能缩短设计周期, 为装载机工作装置设计以及其他机械产品设计提供了一种新的途径。

参考文献

- 1 同济大学. 铲土运输机械. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987
- 2 王国彪, 杨力夫. 装载机工作装置优化设计. 北京: 机械工业出版社, 1996

- 3 姚新胜, 关立文, 黄洪钟. 蜗杆传动多目标满意优化设计. 机械设计, 2001, 18(增刊): 177~178
- 4 姚新胜, 黄洪钟, 周仲荣. 基于广义满意度原理的多目标优化理论研究. 应用科学学报, 2002 (3): 7~12
- 5 潘双夏, 刘慧斌, 冯培恩. 装载机正转八连杆机构工作装置的优化设计. 同济大学学报, 2001, 29(12): 1499~1502
- 6 Volvo. Volvo Wheel Loader L50D. Operator' Manual. <http://www.volvoce-china.com/products/ce/>
- 7 伍春香, 刘琳, 王葆元. 三层 BP 网隐层节点数确定方法的研究. 武汉测绘科技大学学报, 1998, 24(2): 177~179

MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION DESIGN OF THE WORKING UNIT OF LOADER BASED ON THE SATISFACTORY DEGREE THEORY

Huang Hongzhong

(Dalian University of Technology)

Yao Xinsheng Zhou Zhongrong

(Southwest Jiaotong University)

Abstract: Some concepts of the generalized satisfactory degree are defined and characterized, and the multi-objective optimization theory based on the generalized satisfactory degree theory is explored. Aimed at the no-rationality of the single optimization design of the working unit of the loader, after the analysis of its design requirement, the satisfactory optimization design is developed. It is shown that this method not only can improve the quality of the design, but also can represent the requirement of the designer and user much more. It provides a new approach to the design of the working unit of the loader and other mechanical design.

Key words: Working unit of loader Satisfactory degree

Satisfactory optimization Mechanical design

作者简介: 黄洪钟, 男, 1963 年出生, 工学博士, 博士生导师。主要从事可靠性和安全性工程、CAD、智能优化设计、神经网络和模糊技术的研究工作。获 5 项国家级和省部级科技奖, 获 2 项国家专利, 出版 4 部学术著作, 发表论文 150 余篇。