

新型机电产品使用可靠性研究

胡坤雷

(中国电子科技集团公司第三十八研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要: 在提出相似理论基本原理的基础上, 着重介绍了权重值的计算方法, 进而给出了系统相似度的概念和公式, 并通过实例探讨了利用相似理论计算机电产品相似度精确值及预测新产品可靠性的方法, 最后指出了在具体的计算过程中需要考虑的一些问题。

关键词: 相似理论; 机电产品系统; 权重值; 可靠性

中图分类号: TB114.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-5468 (2008) 02-0029-04

Operational Reliability of New Electromechanical Product

HU Kun-lei

(No.38 Research Institute of CETC, Hefei 230031, China)

Abstract: The calculation of the weight value is introduced based on the principle of similarity theory. The concept and equation of the system similarity are proposed. The methods to calculate the similarity of an electromechanical product and to predict the reliability of a new product using the similarity theory are discussed with an example. Some issues that should be considered in the calculation are presented.

Key words: similarity theory; electromechanical product; weight value; reliability

1 引言

新型机电产品使用可靠性研究是目前机电产品设计开发研究领域的方向和难点。多数机电产品为可修产品, 评价其广义可靠性的主要指标是可用度, 目前在设计阶段使用概率设计法来确定机械设备的可用度尚有一定的难度。建立产品的可靠性数据库, 利用类似产品实际使用的可靠性数据对机械设备进行可用度预测, 是在机电新产品设计阶段分

析和改进其广义可靠性的有效方法之一。

2 机电产品系统可靠性的数学模型

2.1 机电产品系统可靠性的定义

机电产品系统通常由动力源、执行(机构)器、驱动器、控制器、数据采集和检测、机体和机构、要素之间的接口等7个基本要素组成^[1]。根据 GB 3187-82 《可靠性基本名词术语及定义》, 可

收稿日期: 2007-11-21

作者简介: 胡坤雷 (1980-), 男, 安徽合肥人, 中国电子科技集团公司第三十八研究所助理工程师, 主要从事可靠性工程与管理工作。

可靠性一词包括广义的和狭义两种解释, 广义可靠性是指产品在其整个寿命周期内完成规定功能的能力, 它包括狭义可靠性和维修性; 狭义可靠性则指产品在某一规定时间内发生失效的难易程度。所谓机电产品系统可靠性是指机电产品系统在规定条件下和规定时间内, 完成规定功能的能力。

2.1 机电产品的系统可靠性数学模型

a) 串联系统

可靠性串联系统是最常见的可靠性系统, 许多实际的工程系统都是可靠性串联系统或以串联为基础的系统。在串联系统中, 任一单元的失效均会导致系统失效, 这是可靠性串联系统的本质属性。在各单元的失效统计独立的条件下:

$$R_S = \prod_{i=1}^n R_i \quad (1)$$

式 (1) 中: R_S ——系统可靠度。

b) 并联系统

此系统只要有一个单元有效就是成功的, 或者说只有当各个单元均失效时系统才失效。即:

$$R_S = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (2)$$

大多数机电设备是由许多串联子系统和并联子系统组成的混联系统。先要确定各零部件的可靠度, 再确定各子系统的可用度。然后, 根据机械设备的组成情况, 将混联系统等效为串联系统或并联系统, 再确定机电产品系统的可靠度^[2]。

3 相似性分析与度量方法

3.1 机电产品系统的相似性分析

对于不同的机电产品系统, 其中组成要素的数量、系统间相似元素的数量, 以及对应相似元素的特性都不尽相同, 从而使不同的机电产品系统间存在一定的相似性, 但相似程度大小不等。当不同的机电产品系统间的要素特征存在相似性时, 系统间对应的要素为相似要素。相似要素在系统间构成相似元。

设系统 A 中要素 a_i 同系统 B 中的要素 b_i 的结构与功能等特性存在相似性时, 则要素 a_i 与 b_i 为相似要素, 构成相似元, 记为 $q(a_i, b_i)$ 。当系统间存在一个相似要素, 构成一个相似元 u_i ; 系统间存在 n 个相似要素, 构成 n 个相似要素, 构成 n 个相似元 $q_1, q_2, \dots, q_n$ 。

根据相似理论可知,

$$Q = Q(A, B) = \frac{n}{k+l-n} \sum_{i=1}^n \beta_i q(u_i) \quad (3)$$

式 (3) 中: k, l, n 分别表示某一层级的系统 A 和 B 的各自组成要素的数量和它们公有的相似要素的数量;

$q(u_i)$ ——第 i 个相似元的数值, β 为第 i 个相似元数值 $q(u_i)$ 的权重值系数^[3]。

3.2 相似元数值的确定

相似元数值相似程度的度量方法是基于要素的属性特征数目多少, 构成相似元的要素间相似特征数目多少以及每一特征的特征值大小。根据这些特征来建立特征信息模型和特征信息集, 确定组成相似要素共有的特征数量, 识别相似特征数量, 获取相似特征值。用特征值的比例系数来反映特征相似程度。由一系列相似特征及其比例系数建立特征相似矩阵和相似特征值比例系数矩阵。根据要素的特征数目、相似要素间的相似特征数目、相似特征值的比例系数以及相似特征权重系数用相似元数值方法计算出第 i 个相似元数值 $q(u_i)$ 。相似元数值指明要素间相似程度的大小^[4]。

3.3 权重值 β 的确定

权重值的确定有多种办法, 可用数理统计、模糊数学、实验方法或利用专家集体智慧等办法来确定。现在用一种结合专家评分的 AHP 法^[5] 来确定不同的相似元对系统相似度的影响程度, 即 β 。

首先把相似元做为评价因素, 建立评价因素集合 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, u_n\}$, 用 u_{ij} 表示 u_i 对 u_j 的相对重要性数值, $j=1, 2, \dots, n$, u_{ij} 取值如表 1 所示。

表 1 判断矩阵标度及定义

标度	定义
1	相似元 u_i 与 u_j 相比较同等重要
3	相似元 u_i 与 u_j 相比较, u_i 比 u_j 稍微重要
5	相似元 u_i 与 u_j 相比较, u_i 比 u_j 明显重要
7	相似元 u_i 与 u_j 相比较, u_i 比 u_j 强烈重要
9	相似元 u_i 与 u_j 相比较, u_i 比 u_j 极端重要
2, 4, 6, 8	相邻判断的两个标度之间折中时, 取中值
倒数	相似元 u_i 与 u_j 相比较后判断 u_{ji} , 则相似元 u_i 与相似元 u_j 比较得判断 $u_{ij}=u_{ji}^{-1}$

根据上述数值标度及意义, 得以下判断矩阵

P :

$$P = \begin{bmatrix} u_{11} & \cdots & u_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ u_{i1} & & u_{in} \\ \vdots & & \vdots \\ u_{n1} & \cdots & u_{nn} \end{bmatrix}$$

在矩阵 P 中, $u_{ij}=1$, $u_{ij}=u_{ij}^{-1}$, $u_{ij}=$, 其中 $i=1, 2, \cdots, n, j=1, 2, \cdots, n; k=1, 2, \cdots, n$ 。

权重系数, 反映了每一相似元对系统相似性影响的重要程度, 根据上述判断矩阵, 权重数值大小的确定方法与步骤如下:

a) 将判断矩阵每一列归一化

$$\bar{u}_{ij} = \frac{u_{ij}}{\sum_{k=1}^n u_{kj}} \quad (i, j=1, 2, \cdots, n)$$

b) 每一列归一化后的判断矩阵按行相加

$$\bar{\beta}_i = \sum_{j=1}^n \bar{u}_{ij} \quad (i, j=1, 2, \cdots, n)$$

c) 对向量 $\bar{\beta} = (\bar{\beta}_1, \bar{\beta}_2 \cdots \bar{\beta}_n)^T$

归一化处理

$$\beta_i = \frac{\bar{\beta}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{\beta}_i} \quad (i=1, 2, \cdots, n)$$

由以上分析, 得到特征向量 $\beta = (\beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_i \cdots \beta_n)$, 即为权数值。其中 $\lambda_{\max}$ 为 P 的最大特征值,

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum \frac{(pw)_i}{w_i}, \quad n \text{ 为 } P \text{ 的阶数。}$$

对于多阶判断矩阵, 即相似元很多的情况下还需引入判断矩阵的平均随机一致性指标, 记为 RI , 对于 $n=1, 2, \cdots, 9$ 阶判断矩阵的 RI 值如表 2 所示。

表 2 平均随机一致性指标值

阶数	RI	阶数	RI
1	0	6	1.24
2	0	7	1.32
3	0.58	8	1.41
4	0.90	9	1.46
5	1.12		

则随机一致性比率 CR 为:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

至于权数分配是否合理, 可用下式检验矩阵的一致性, 引入一致性指标 CI , 即:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

当 $CR < 0.10$ 时, 便认为判断矩阵具有满意的一致性, 否则需要调整判断矩阵, 直到具有满意的一致性为止。当相似要素组成相似元值平权时, 即

$$\beta_i = \frac{1}{n}, \text{ 则}$$

$$Q(A, B) = \frac{1}{k + l - n} \sum_{i=1}^n q(u_i)$$

3 实例分析

在某系列的工业激光喷码机产品的开发中, 要对设计方案进行评价选择, 可靠性指标是作为其中一项重要性能指标来考虑的。如前所述, 从定性和定量的角度测定方案与已有的产品之间在可靠性方面的相似程度, 从而进行可靠性的预测。定性方面主要从影响可靠性的因素出发, 在此选择工作环境、复杂程度、工作时间、维修费用、技术水平等因素予以考虑。选择其中的一个产品方案, 并选定同系列其它 5 个型号经专家评定, 获得各自对应相应因素的特征量集合如表 3 所示。

表 3 可靠度影响因素值的确定

	技术水平	工作环境	工作时间	维修费用	复杂程度
新产品	0.70	0.80	0.75	0.55	0.70
产品 1	0.68	0.75	0.78	0.75	0.69
产品 2	0.79	0.69	0.68	0.59	0.76
产品 3	0.75	0.74	0.79	0.66	0.63
产品 4	0.69	0.67	0.65	0.68	0.68
产品 5	0.63	0.76	0.76	0.63	0.64

对新产品与已有的产品进行相似度计算, 以确定它们之间的相似程度的具体数值。首先计算新产品与产品 1 之间的相似度值。

a) 第一步: 构造相似元及数值计算

由表 3 看出, 可以构成 5 个相似元, 其数值如表 4 所示。

表 4 系统相似元值

相似元	数值
$q(u_1)$	0.971 4
$q(u_2)$	0.937 5
$q(u_3)$	0.961 5
$q(u_4)$	0.733 3
$q(u_5)$	0.928 6

b) 第二步: 系统相似度的计算

在计算系统相似度之前应首先确定每个相似元对系统相似性影响因素的权重值, 采用取平权的方式设定 $\beta_1 = \dots = \beta_5 = 1/5$ 。下面就可以利用上面提供的方法计算出系统的相似度为: $Q_1 = 0.906\ 5$

采用相同的方法可以计算出

$$Q_2 = 0.901\ 7 \quad Q_3 = 0.908\ 2$$

$$Q_4 = 0.894\ 0 \quad Q_5 = 0.924\ 8$$

对计算出来的相似度值进行归一化处理得:

$$\lambda_1, \dots, \lambda_5 = (0.199\ 9, 0.198\ 8, 0.200\ 3, 0.197\ 1, 0.203\ 9)$$

已知各已有产品的可靠度如表 5 所示:

表 5 已有产品的可靠度

产品编号	可靠度值
1	0.869 3
2	0.843 2
3	0.879 2
4	0.870 0
5	0.907 5

所以新产品的可靠度为:

$$R_S = \sum_{i=1}^n \lambda_i R_i = 0.874\ 5$$

5 结束语

机电产品使用可靠性的相似性分析尚有一些问题需要进一步研究, 如影响可靠性的因素是否具有代表性和科学性, 它们之间的重要程度如何确定, 以及有的要素特征不能简单用精确数值表示, 对这些要素特征如何量化等。在复杂机电产品的设计初期只能略知产品的一些特性, 许多具体的参数和零部件构成尚不清楚, 这使得可靠性的预测难以进行。本文讨论的基于相似度的产品可靠性预测, 适合于产品设计初期产品方案可靠性评估和一些子系统(零部件)的可靠性预测, 从而为产品方案的定性和定量评价提供科学的依据。

参考文献:

- [1] 颜永年, 张晓萍, 冯常学. 机械电子工程 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.
- [2] 李明伦, 李东阳, 郑波. 机电产品贮存可靠性 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1997.
- [3] 周美立. 相似学 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.
- [4] 欧阳楚萍. 相似与机电产品模化 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 1995.
- [5] 吴祈宗. 系统工程 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.

信息与动态

IBM新超级电脑用水降温

据报道, IBM在新推出的 Power 575 超级电脑上采用水冷却系统来代替空气冷却系统, 希望用这种技术改进冷却系统的性能。

Power 575 采用的是 4.7 GHz Power6 处理器, 每个机架包含了 448 个处理器, 因此需要新的冷却技术。相对于老的空气冷却型 Power 系统, 新的水冷却系统可降低数据中心 40 % 的能耗。Clabby Analytics 的分析师乔·克拉比 (Joe Clabby) 称, 无论是冷却单个系统还是整个数据中心, 水冷却的效率是空气冷却的 3 倍。

IBM 表示, Power 575 超级电脑的冷却系统, 可为最终将水冷却系统内置在芯片上开辟道路。一旦吸收了热量后, 水就被抽出并循环使用。Power 575 上的每个机架都包含了 14 个 2 U 节点, 每个节点又包含 32 块 Power6 处理器; 每块处理器的时钟频率都为 4.7 GHz, 因此每个节点可进行 6 000 亿次/s 的浮点运算。

据称, Power 575 超级电安装的是 IBM 自己的 AIX 操作系统 (Unix 的一个版本) 或 Linux, 产品将于 2008 年 5 月上市。 (本刊讯)