

基于灰色关联理论 AGREE 方法的 BA 系统可靠性分配 *

向 宇¹, 黄大荣², 黄丽芬²

(1. 湖北民族学院 理学院, 湖北 恩施 445000; 2. 重庆交通大学 信息科学与工程学院, 重庆 400074)

摘 要: 合理的建筑设备自动化系统(BA 系统)的可靠性分配方法是改进 BA 系统整体可靠性的基础环节。为了有效地管理和监测 BA 系统,基于灰色关联度 AGREE 方法研究了 BA 系统的可靠性分配方法。首先在确定可靠性分配规则的基础上,基于灰色关联理论构建了单元与系统失效率序列之间的重要度因子计算模型,运用灰色关联分析方法求得各单元与系统失效率序列之间联系紧密程度,作为可靠性分配中的重要度因子;然后,在此基础上,结合传统 AGREE 分配方法构建了系统可靠性分配模型;最后针对 BA 系统的可靠性框图,用灰关联理论 AGREE 分配方法对其可靠性分配进行了论证。结果表明,该方法是有用的。

关键词: 灰色关联理论; AGREE; BA 系统; 可靠性分配; 重要度因子

中图分类号: TP202; TU855

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2010)12-4489-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.12.026

Reliability allocation of BA system based on grey relative theory and AGREE

XIANG Yu¹, HUANG Da-rong², HUANG Li-fen²

(1. Institute of Mathematic & Physical, Hubei National College, Enshi Hubei 445000, China; 2. School of Information Science & Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: It is important to determine the importance factor of every unit for AGREE allocation. Firstly, got the relation degree of failure rate sequence between every unit and system with the grey relative analysis method. Then, took it as the importance factor of reliability allocation and complete the reliability allocation method together with AGREE allocation. Finally, built the reliability mode of building automation system (BA system) and finished the reliability allocation of it with grey relative theory and AGREE. The result shows that the method is feasible.

Key words: grey relative theory; AGREE; BA system; reliability allocation; importance factor

BA 系统的可靠性设计问题是目前智能化建筑工程设计方案论证阶段的重要内容之一。对于 BA 系统这样一个大型的复杂系统,其可靠性设计问题是一个非常复杂的过程,这将涉及系统技术体制的选择、系统的简化、各种冗余方案的采用,以及冗余与维修相结合的体制等问题。对于不同的系统结构,需要根据重要度、复杂度、致命性、成熟性等不同情况给出相应的可靠性指标。因此,BA 系统的可靠性设计主要分为两个方面:a)已经知道了系统各分系统的可靠性指标,需要对该系统的整体可靠性进行综合评定,称之为可靠性评定问题;b)确定、预测和分配系统可靠性指标,提出和分析实现可靠性指标要求的系统设计方案,分析和论证可靠性指标与性能指标之间的关系,同时论证可靠性实施方案,即选择、采用何种方案来实现系统的要求可靠性指标,称之为可靠性分配问题。

在文献[1]中,针对 BA 系统的可靠性综合评定问题进行深入研究,并刻画了 BA 系统从可靠到失效存在过渡环节的问题,取得了很好的效果。但非常遗憾的是,该研究虽然能对 BA 系统的可靠性进行综合评定,但是并不能对其具体指标进行优

化设计,而在 BA 系统的可靠性设计问题中,如何根据 BA 系统结构及组成单元的特点,选择合适的可靠性指标分配方法,对 BA 系统工程设计方案的改进起着至关重要的作用。因此,为了解决这个问题,本文尝试将灰色关联理论与传统的 AGREE 分配方法结合起来,形成一种新的 AGREE 分配方法,并将此应用在建筑设备自动化系统(building automation system, BAS)的可靠性分配实际工程中,取得了较好的效果。

1 可靠性分配准则

为了更好地对 BA 系统的可靠性分配进行研究,在进行基本理论介绍之前,需要结合系统的结构特点,确定指标分配的基本准则以及合理的分配方法,按要求展开可靠性指标的分配。在进行可靠性分配时主要遵循以下几条原则^[2,3]:

- 对于复杂度高的分系统、设备等,应分配较低的可靠性指标;
- 对于技术上不成熟的产品,分配较低的可靠性指标;
- 对于恶劣环境条件下工作的产品,应分配较低的可靠

收稿日期: 2010-06-23; **修回日期:** 2010-09-06 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61004118); 中国国家博士后科学基金资助项目(20060401018); 重庆市自然科学基金资助项目(CSTC,2006BB2422); 重庆市教委科学技术研究项目(KJ060414); 重庆交通大学博士启动基金资助项目(07-01-12); 重庆交通大学研究生创新基金资助项目(0904)

作者简介: 向宇(1977-),女,湖北恩施人,讲师,主要研究方向为可靠性数学(syy20070506@163.com); 黄大荣(1978-),男,湖北建始人,副教授,博士(后),主要研究方向为可靠性分析、智能控制等; 黄丽芬(1982-),女,安徽安庆人,硕士,主要研究方向为计算机应用技术。

性指标;

d)把可靠度作为分配参数时,对于需长期工作的产品,应分配较低的可靠性指标;

e)对于重要度高的产品,应分配较高的可靠性指标。
因此,如果要提高系统的可靠性,首先考虑改进底事件 u_0 。

2 灰色关联理论

灰色关联理论是根据因素之间发展态势的相似或相异程度来衡量因素间关联程度的方法。事实上,灰色关联理论是一种就数找数的方法,是通过对实验数据的整理来寻找数的规律。求关联数列与参考数列的紧密程度关系时,可画出参考曲线与关联曲线,利用关联曲线与参考曲线之间形状的相似程度能直观地表示各曲线间的关联紧密程度。根据灰色理论,曲线越靠近,各几何形状越接近,则发展变化态势越接近,表明两者关系越紧密,关联度越大;反之,则关联度越小。

灰色关联分析的计算步骤^[4,5]如下:

- a)确定参考数列。参考数列常记为 x_0 , $x_0(k)$ 表示不同时刻的值;其他数列作为关联数列,记做 $x_i(k)$ 。
- b)对数列作无量化处理,即将数列转换为无单位的相对数值。常用变换方法有极差化、均值化、标准化、初值化等。
- c)利用变换所得的数据计算关联数列与参考数列在不同时刻的关联系数,计算公式为

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_{i-}(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_{i-}(k)|}{|x_0(k) - x_{i-}(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_{i-}(k)|}$$

(1)

其中: $\xi_i(k)$ 是第 k 个比较时刻参考数据 x_0 与关联数列 x_i 的相对差值,这种形式上的相对差值称为 x_i ,对 x_0 在 k 时刻的关联系数。

d)求关联度。计算方法是对不同时刻的关联系数求平均值,计算公式为

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k)$$

(2)

其中: γ_i 表示关联数列 x_i 对参考数列 x_0 的灰色关联度。

3 基于灰关联理论 AGREE 方法的 BA 系统可靠性分配

3.1 基于灰关联理论的 AGREE 分配方法

AGREE 分配法是由美国电子设备可靠性顾问团 (AGREE) 提出的,它同时考虑了系统的各单元或单个子系统的复杂度、重要度、工作时间,以及它们与系统之间的失效关系^[6~10]。这种分配法适用于寿命为指数分布的系统,它既考虑了各单元的复杂性,又考虑了各单元的重要性。

1) 确立重要度因子

根据各单元以及系统在生命周期内的失效率序列,分析其间的相似或相异程度。它们联系的紧密程度反映了各组成单元失效导致系统失效的可能性。也就是说,单元与系统失效率序列关系越紧密,其相对于系统的重要度越大;反之,重要度越小。利用灰关联理论求出的灰色关联度即为各单元相对于系统的重要度 γ_i 。

2) 确定复杂性因子

$$\frac{n_i}{\sum_{i=1}^n n_i} = \frac{\text{第 } i \text{ 个单元的基本元件数}}{\text{系统的基本元件总数}}$$

(3)

其中: i 为系统组成元件序列的序号。

$$R_i(t) = 1 - \frac{1 - [R(t)]^{\frac{n_i}{N}}}{W_i}$$

(4)

其中: $R(t)$ 是系统要求的可靠度值, $R_i(t)$ 是第 i 个单元分配到的可靠度值。

3.2 建立 BA 系统可靠性模型

BA 系统是典型的集散控制系统,其工程应用中分散控制节点,如数字直接控制器 (data direction control, DDC) 等底层控制设备较多,这里为计算方便在其分散控制中各取两路作为代表。其中工作站、服务器等五大功能模块串联构成系统构架,工作站与备用工作站又冗余工作提高系统可靠性,系统中两路通信控制器、DDC、执行阀等设备单一失效不会构成系统整体失效,从而形成并联冗余。可以根据可靠性框图法得到系统可靠性模型,图 1 即为精减 BA 系统的可靠性模型。

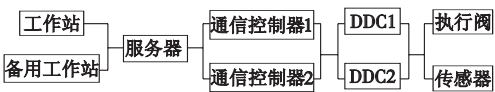


图1 BA系统可靠性模型

3.3 运用灰关联分析理论计算 BA 系统各部分重要度

1) 记录数据整理列表

根据某工程 BA 系统项目建立 10 年的维保记录,利用参考文献[11]中的方法计算其 MTBF,得出系统及各单元部分在 10 个时间段(年)内失效率,如表 1 所示。其中备用工作站为工作站 2,通信控制器为 NTU。

表 1 BA 系统及各组成单元 10 年失效率数据($\times 10^{-4}$)

年份	1998	1999	2000	2001	2002
BA 系统	2.044	2.244	2.045	1.895	1.562
工作站	1.142	1.667	1.142	1.253	1.142
工作站 2	1.142	1.142	1.142	1.142	1.142
NTU1	2.315	1.142	2.320	3.480	1.488
NTU2	1.142	2.320	2.318	1.157	2.083
DDC1	2.315	2.320	1.157	1.157	1.508
DDC2	2.320	2.325	2.318	2.320	1.409
传感器	3.472	3.529	3.641	2.328	1.401
执行阀	3.510	3.509	2.325	2.320	2.320

年份	2003	2004	2005	2006	2007
BA 系统	1.518	1.901	1.779	1.917	2.072
工作站	1.420	1.142	1.163	1.142	1.667
工作站 2	1.142	2.778	1.142	1.142	1.142
NTU1	1.157	1.690	2.580	2.315	1.506
NTU2	2.103	1.432	1.450	1.220	1.721
DDC1	1.427	1.760	1.690	2.308	2.310
DDC2	1.157	1.151	1.243	1.215	2.412
传感器	1.410	2.572	2.630	2.507	3.521
执行阀	2.325	2.320	2.280	3.488	2.302

由于服务器在系统中属于串联部分,其重要度为 1,不参与列表计算。系统中各因素的量纲统一,且因素之间数值相差不大,可直接进行比较,无须对原始数据进行无量纲化处理。

2) 计算单元重要度因子

各单元的关联系数可利用式(1)计算得出,它代表系统与单元的失效率序列在第 k 个时间段的关联程度,其大小可作为数列间关联程度的衡量尺度。其中 ρ 为分辨系数,一般在 $[0, 1]$ 选定,本文计算时 ρ 取为 0.5。再根据式(2)求出各单元的灰色关联度,将各个时刻的关联系数集中为一个值,从总体上衡量数列之间的关联程度,即为各单元的重要度。结果如表 2 所示。

表 2 各单元的重要度因子

设备名称	重要度
工作站	0.634
工作站 2	0.495
NTU1	0.644
NTU2	0.646
DDC1	0.739
DDC2	0.730
传感器	0.557
执行阀	0.554

3)可靠度计算

设系统要求可靠度达到 0.95,各单元重要零件数依次为 50、50、30、30、18、18、12、7。计算系统的零件总数为 215。由式(3)易得到各单元复杂度因子。根据式(4)计算各部分的可靠度如下:

$R_1(t)=0.9813;R_2(t)=0.9760;R_3(t)=0.9889;R_4(t)=0.9893$
 $R_5(t)=0.9942;R_6(t)=0.9941;R_7(t)=0.9949;R_8(t)=0.9967$

计算结果表明,该方法符合刚开始提出的设计准则,存在些微的误差也是因为所建立的 AGREE 方法没有考虑单元的环境因素及技术成熟程度,为了解决这个问题,可在实际操作中根据现场情况对计算结果作适当调整。

4 结束语

本文在深入分析可靠性 AGREE 分配方法的基础上,针对现存方法的不足,引入灰色关联理论,运用灰色关联分析方法求取各单元的重要性因子,建立 BA 系统可靠性框图,使用该方法对 BA 系统进行可靠性分配。实例证明该方法能有效解决工程实际中数据不足难以科学分配可靠性的问题,增加可靠

性分配计算的合理性,为完成系统可靠性设计提供帮助;计算方法简单,易于实现。不足之处在于没有考虑实际工程中环境及技术因素,可在进一步的研究中解决。

参考文献:

[1] 黄大荣,黄丽芬.基于集对分析联系数故障树的 BA 系统可靠性分析[J]. 计算机应用研究,2010, 27(1):111-113.

[2] 李建军.发射装置可靠性指标分配方法研究及其应用[J]. 舰船科学技术,2009,31(5):102-104.

[3] 郝静如,米洁,立启光.机械可靠性工程[M]. 北京:国防工业出版社,2008.

[4] 邓聚龙.灰色系统理论[M]. 武汉:华中科技大学出版社,1989:53-131.

[5] 邓聚龙.灰色系统基本方法[M]. 武汉:华中科技大学出版社,1987:1-56.

[6] 姜悦岭.一种改进的 AGREE 可靠度分配算法[J]. 锦州师范学院学报:自然科学版, 2001,22(1):17-21.

[7] 郑裕国,张康达.修正的 AGREE 法及其在空分设备可靠度分配中的应用[J]. 机械设计, 1996(5):9+19+42-43.

[8] MISRA K B, WEBER G G. A new method for fuzzy tree analysis[J]. Microelectron and Reliability, 1989,29(2):195-216.

[9] ZONG Xiao-yang. A fault prediction approach for process plants using fault tree analysis in sensor malfunction[C]//Proc of IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. 2006:2415-2420.

[10] WANG Sheng-wei, XIE Jun-long. Integrating building management system and facilities management on the Internet[J]. Automation in Construction,2002,11(6):707-715.

[11] 赵花城,沈海尧,王玉洁.大坝安全监测自动化系统平均无故障工作时间计算探讨[J]. 大坝与安全,2007(5):30-34.

(上接第 4479 页)

[2] SWEENEY D J, TATHAM R L. An improved long-run model for multiple warehouse location[J]. Management Science, 1976, 22(7): 748-758.

[3] SCOTT A J. Dynamic location-allocation systems:some basic planning strategies[J]. Environment and Planning, 1971,3(1):73-82.

[4] ERLINKOTTER D. A comparative study of approaches to dynamic location problems [J]. European Journal of Operational Research, 1981, 6(2):133-143.

[5] HINOJOSA Y, PUERTO J, FERNÁNDEZ F R. A multiperiod two-echelon multicommodity capacitated plant location problem[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 123(2): 271-291.

[6] MELACHRINOUDIS E, MIN H. The dynamic relocation and phase-out of a hybrid, two-echelon plant/warehousing facility: a multiple objective approach [J]. European Journal of Operational Research, 2000, 123(1): 1-15.

[7] MELO M T, NICKEL S, Da GAMA F S. Dynamic multi-commodity capacitated facility location: a mathematical modeling framework for strategic supply chain planning[J]. Computers & Operations Research, 2005, 33(1):181-208.

[8] HINOJOSA Y, KALCSICS J, NICKEL S, et al. Dynamic supply chain design with inventory [J]. Computers & Operations Research, 2008, 35(2):373-391.

[9] WESOLOWSKY G O. Dynamic facility location [J]. Management Science, 1973, 19(11):1241-1248.

[10] DIAS J, CAPTIVO M E, CLIMACO J. Efficient primal-dual heuristic for a dynamic location problem[J]. Computers & Operations Research,

search, 2007, 34(6):1800-1823.

[11] CANEL C. The uncapacitated multi-period facilities location problem with profit maximization [J]. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 1999, 29(6):409-433.

[12] KO H J, KO C S, KIM T. A hybrid optimization/simulation approach for a distribution network design of 3PLS[J]. Computers & Industrial Engineering, 2006, 50(4):440-449.

[13] AXSATER S. Using the deterministic EOQ formula in stochastic inventory control [J]. Management Science, 1996, 42(6):830-834.

[14] De CASTRO L N, ZUBEN von F J. The clone selection algorithm with engineering applications[C]//Proc of Genetic and Evolutionary Computation Conference. 2000: 36-37.

[15] EBERHART R, KENNEDY J. A new optimizer using particle swarm theory[C]//Proc of the 16th International Symposium on MicroMachine and Human Science. Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 1995:39-43.

[16] KENNEDY J, EBERHART R. Particle swarm optimization [C]//Proc of IEEE International Conference on Neural Networks (Perth Australia). Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 1995:1942-1946.

[17] CANEL C, KHUMAWALA B M, LAW J, et al. An algorithm for the capacitated, multi-commodity multi-period facility location problem [J]. Computers & Operations Research, 2001, 28(5):411-427.

[18] MIRANDA P A, GARRIDO R A. Incorporating inventory control decisions into a strategic distribution network design model with stochastic demand[J]. Transportation Research Part E, 2004, 40(3): 183-207.