

文章编号:1671-654X(2003)03-0051-05

复杂系统可靠度综合计算平台的设计实现

贺勇军

(国防科技大学 航天与材料工程学院,湖南 长沙 410073)



摘 要:鉴于复杂大系统可靠度综合计算面临诸多困难,分析了其复杂性特征,提出了一种一体化建模方法——复合逻辑树模型(Composite Logic Tree Model,简称CLTM)及其递归调度综合算法,并采用面向对象的思想和技术,设计实现了可视化的系统可靠度CLTM综合建模与计算软件平台。介绍了软件的总体框架及其功能,并通过实例阐明了相应的系统可靠度综合分析方法。

关键词:可靠性;复合逻辑树模型;递归算法;可视化建模;软件中图分类号:TP311

文献标识码:A

来,国内计算机辅助可靠性分析工作已有较大的发展,研制了一些针对具体问题而编制的程序或软件包^[2,3],但还没有很好的算法及其软件平台来有效地解决上述问题。

为此,我们分析了复杂大系统可靠度模型及其算法的特点,提出了一种面向可靠度综合建模与求解的复合逻辑树模型(Composite Logic Tree Model,简称CLTM)及其一体化的递归调度综合算法,并采用面向对象的方法和技术,设计开发了可靠度综合建模与计算软件平台,实现了系统CLTM的可视化动态交互建模及可靠度的自动综合计算分析。

引言

复杂大系统由众多实体组成且实体间存在错综复杂的耦合关系,通常需完成多目标、多功能和多阶段的任务。无论是固有可靠性分析还是任务可靠性分析,都需要处理由寿命分布类型的多样性和逻辑结构的复杂性所带来的问题。特别是在任务可靠性模型中,还存在单元共用相关性和时段延续相关性等问题。其可靠性分析任务的难度和工作量相当大。因此,设计统一的模型框架及算法,并在此基础上构造实用的计算机辅助可靠性综合计算分析平台,具有十分重要的意义。

国外在可靠性软件研发方面的工作开展较早。20世纪70年代初,美国NASA和军方就已着手开发用于可靠性分析的应用软件,目前已形成了系列化的产品并得到了广泛的应用^[1]。但由于可靠性工作中所依据的主要标准、方法及数据分类等都与国内不尽相同,这些软件并不完全适合我们使用。近年

1 复杂大系统可靠度模型及其综合计算特点分析

1.1 模型复杂性

复杂大系统可靠性模型的复杂性,主要体现在以下几个方面:

1) 系统规模庞大,通常由多级子系统构成,各级子系统又包含众多的基本设备单元,且各单元的寿命分布类型各异,如指数分布、二项式型、等等。

2) 系统整体逻辑结构复杂,由基本设备单元按照多种逻辑关系而构成,典型的如串联、并联、串并混联以及网络结构等,并往往呈现多类结构相互嵌套状态。

3) 相关性的存在。复杂大系统在不同的任务阶段,一般由不同的子系统、功能单元来组合完成,因此其可靠性逻辑结构也会随着任务时间段的改变而变化,造成功能模块间的相关性问题。这种相关性

收稿日期:2003-03-18

作者简介:贺勇军(1969-),男,湖北黄冈人,博士研究生,研究方向为飞行器系统建模仿真与优化。

主要表现在两个方面,一是单元共用相关性,即同一任务时段内,部分单元在不同功能模块中共用,表现为相应方框在可靠性框图中重复出现;另一种是时段延续相关性,即对于多阶段任务,各单元由于开始参与工作的时刻不同、工作时间长短不同以及连续或断续出现在各任务阶段中,呈现出不同时段间的相关性,表现为部分单元重复出现在可靠性框图中不同时间段的模块内。

1.2 综合计算复杂性

在独立条件下,针对单一的寿命分布和典型逻辑结构,目前已有许多成熟的可靠度计算方法^[4,5]。关于单元共用相关性和时段延续相关性问题的解决方法,可参见文献[6,7]。但如何形成一体化的系统可靠度综合计算机制,仍是一个需要深入研究的问题。可靠性模型的复杂性以及分析精度的要求,造成了可靠性综合计算的复杂性,主要体现在以下几个方面:

- 1) 针对各种基本设备,计算可靠度和MIBCF等性能参数时,应遵从于原设备的真实寿命分布,不可随意进行简化。
- 2) 对于非常复杂的网络图,由于计算环节众多,难以直接建立可靠性计算的解析表达式。
- 3) 各种典型结构都有相应的化简和计算方法,并且其效率存在差异。不同的方法也只针对某些结构有效。
- 4) 对于含相关性的系统可靠性模型,不能直接按照可靠性框图模型进行求解。

1.3 简单性因素

虽然存在以上种种复杂性特征,但系统可靠性模型及其计算却内禀一些简单性因素。

对模型进行分解可以看到,系统中基本设备的寿命分布以及模型局部的典型逻辑结构为数量不多的有限类型;系统可靠性的综合计算过程,需要反复多次调用相同寿命分布类型的可靠度计算函数和典型逻辑结构可靠度的求解算法。因此,可靠性建模及其计算的基本成分(或称结构因子)是简单而明确的,整体所表现出来的复杂性仅是源于这些简单因子的综合化。

2 CLTM一体化建模与递归算法

根据以上分析可知,可靠度综合建模和算法必

须体现“量体裁衣,分而治之”的思想,针对不同类型的问题,相应地采用最有效的解法,然后再进行综合,以达到理想的效率和精度。为此,我们提出了这样一种统一模型,即基于可靠性框图自身逻辑关系特点,从整体到局部,按照层次化、模块化的思想,自顶向下将整个框图逐级进行模块划分,直至所有的最底层模块为服从某种寿命分布的基本设备为止,由此构成系统可靠性模型的树状表达形式,我们称其为复合逻辑树模型(CLTM)。

2.1 复合逻辑树建模

2.1.1 基本定义

基本元件:指系统可靠性模型框图中最基本的组成成分,这种元件服从于某一确知的寿命分布,在可靠性框图中表现为一个单独的底层方框。

基本单元:复合逻辑树中的初级组成成分,它们是由多个基本元件构成、具备典型简单逻辑结构的设备,如 n 个相同指数分布型设备串联(或并联)单元、 $N+L$ 冷储备型单元等等。基本单元和基本元件的可靠度均可用一个明确的解析式给出,在此将它们统称为基本单元。它们在复合逻辑树模型中以叶节点表示。

非基本单元:复合逻辑树中,由多个基本单元或非基本单元的子节点按照某种逻辑关系(如串联、并联、网络联结)构成的模块或系统。它们在复合逻辑树模型中用非叶节点表示。

2.1.2 建模策略

根据大量分析和实践经验,我们归纳出了复杂系统可靠度模型的分解策略。主要思路是自顶而下,对于每一层次,先解耦(即解决相关性),再按常规逻辑结构进行分解。具体措施为:

- 1) 独立化分解。先将整个模型划分为相互独立的各个部分,然后再分别对各部分进行进一步的分解。当同时含有单元共用相关性、时段延续相关性时,应先按照时段延续相关模式分解。

- 2) “关系最简原则”分解。可靠性框图模型能够以多种方式划分,分解后的结构形式并不唯一,其复杂程度和递归求解的效率也不同。在模型的逐级分解过程中,能够以最简单逻辑关系构成的单元,尽可能先组成一个模块单元。一般来说,最为简单的是单纯的串联和并联关系;串并混联关系可以分解为多级串联和并联关系的组合;广义网络结构,可以采用通用的全概率公式的分解模式。当然,对于规模

较小的单元独立的网络结构,也可采用其他建模方式(如邻接矩阵)。对于含相关性的模块,可以依照典型的相关结构模式进行简化^[6],或者使用全概率分解模式^[7]。

当系统模型的任一分支分解到基本单元时,该分支的分解过程结束。当所有分支的分解过程均结束时,就形成了整个系统的可靠性复合逻辑树模型。

2.2 基于 CLTM 的递归调度算法

基于 CLTM,我们设计实现了相应的可靠度递归调度综合算法(见图 1)。其中代码的含义见表 1。

递归算法代码含义表

代 码	含 义
Rel	单元可靠度计算值
REL-rec()	单元可靠度递归算法
REL-bas()	基本单元或非基本单元可靠度计算函数
Unit	待计算单元
Unit-Ch-i	Unit 的第 i 个子单元
N	Unit 的子单元数
Type-BU	基本单元类型
Type-BU-Sp	基本单元具体类型
Type-NBU	非基本单元类型
Type-NBU-Sp	非基本单元具体类型
Para(Unit)	Unit 单元分布参数或结构描述参数集合
Read()	读取参数
	类型归属关系符

```

REL-rec(Unit)
{
    if (UnitType-BU)
    {
        Read(Type-BU-Sp(Unit));
        Read(Para(Unit));
        Rel = REL-bas(Type-BU-Sp(Unit), Para(Unit));
    }
    else if (UnitType-NBU)
    {
        Read(Type-NBU-Sp(Unit));
        Read(Para(Unit));
        for(i = 1; i <= N; i++)
        { Rel(Unit-Ch-i) = REL-rec(Unit-Ch-i); }
        Rel = REL-bas(Type-NBU-Sp(Unit), Para(Unit),
            Rel(Unit-Ch-1), Rel(Unit-Ch-2),
            ..., Rel(Unit-Ch-N));
    }
    Return(Rel);
}

```

图 1 系统可靠度 CLTM 的递归调度综合算法

此算法是一种动态调度算法,其计算框架适用于各种不同的 CLTM 模型。实现递归算法的基础是建立基本单元的可靠度计算函数库和非基本单元各种结构类型的可靠度求解算法库。在计算时,依据用户所建立的具体模型,在递归过程中不断判断模型结构、读取模型参数并调用相应的函数或算法,由此实现整个系统可靠度的一体化综合计算。

3 可视化建模与综合计算软件的设计实现

3.1 基本设计思想

在系统规模庞大的情况下,人工建模与计算分析任务非常繁琐,工作量大且容易出错,却非常适合于计算机来完成。但若采用结构化程序设计方法来构造程序,虽然程序设计实现相对简单,却缺乏建模灵活性和重用性,难以充分辅助支持系统分析员建立各种复杂 CLTM 模型并对系统进行多层次的全面分析。因此,我们采用面向对象的思想和方法,以及可视化建模技术、对象动态生成技术和组件集成技术等,通过演化式原型开发方法,设计实现了能够以可视化动态交互模式进行 CLTM 建模与综合计算的软件平台。

另外,软件设计体现系统可靠性模型与综合算法相分离的思想,即在遵循 CLTM 建模规则的前提下,二者相互独立运作,使用户只需承担 CLTM 建模工作,其他的各项综合分析任务则交由软件自动完成。

3.2 软件总体结构框架

软件总体框架与组成见图 2,其中各组件的功能见 3.3 节所作描述。软件主工作台如图 3 所示。

3.3 可靠性建模与分析

本节通过一个小规模的典型系统实例(System)(见图 4)来说明运用此软件辅助进行系统可靠性建模与分析的过程,并由此阐述软件的主要设计思路 and 实现机制。

3.3.1 可视化动态交互 CLTM 建模

任何一个系统的复合逻辑树模型,需要以一定的方式形成计算机所表示的映象模型,即在计算机中建立内含系统可靠性模型全部信息的“同构模型”。对系统分析员而言,其建模工作首先是将系统可靠性框图分解为 CLTM,一种分解结果如图 5 所

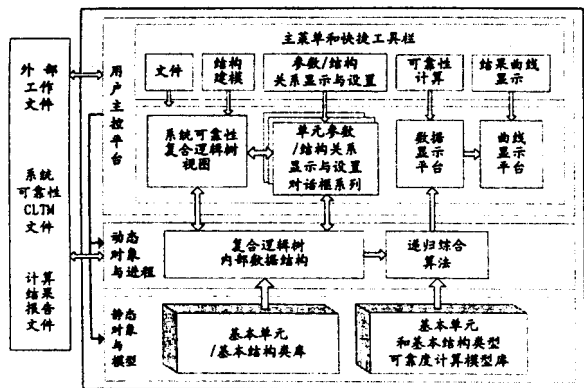


图2 系统可靠性综合建模与计算软件总体结构



图3 系统可靠性综合建模与计算软件主控平台

示。然后,通过“用户主控平台”中的“结构建模”和“参数/结构关系显示与设置”等可视化功能组件在“系统可靠性复合逻辑树视图”中建立图形化的CLTM。复合逻辑树视图有多种表达模式,可以是层

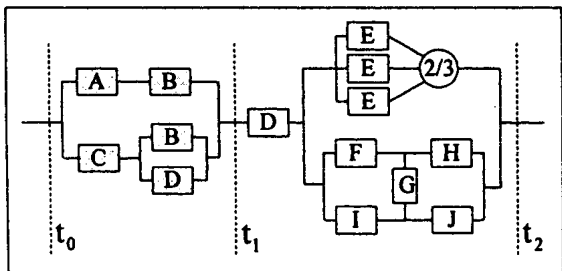


图4 复杂系统可靠性框图典型实例

次目录视图(如图3所示),也可以是图5所示的更为直观的模式。用户可根据习惯予以选择。而在此过程中,软件内部则同时进行了树状结构的动态建立、

对象的动态生成和挂接、对象属性的赋值等过程,形成了“复合逻辑树内部数据结构”。这样,就生成了计算机内部表示和外部视图所表达的两个同构于可靠性框图模型的动态映象模型。

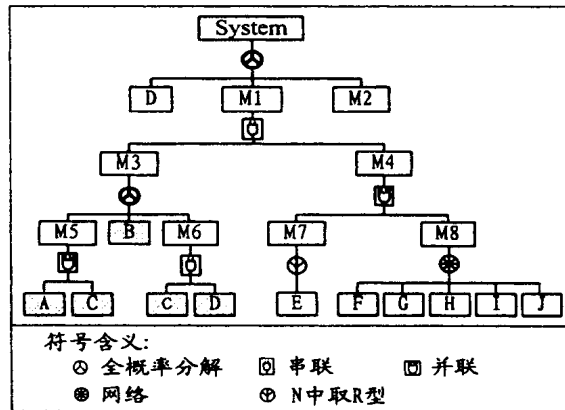


图5 系统可靠性框图的复合逻辑树图形建模示例

3.3.2 基于动态模型的可靠度递归综合计算

建立完成 System 的 CLTM 模型之后,系统分析员可以立即获得整个系统或其中任一单元的可靠性分析结果,只需简单地通过菜单或按钮选择计算分析项目即可。在软件后台的计算过程中,递归调度算法则根据 CLTM 模型本身的逻辑结构和参数集合来完成相应的综合计算过程。

3.4 辅助功能设计与运行环境

完善的计算机辅助可靠性分析软件应该全面支持和满足系统分析员的任务需求,并通过易用性提高分析员的工作效率。为此,设计了以下一些主要的辅助功能组件:数据及曲线表达的分析结果显示平台、用于存取 CLTM 模型和分析计算结果的文件系统、异常处理与信息提示窗口、在线帮助系统和联机使用手册等。为做到软件的广泛适用性,将其设计实现为标准的 Windows 应用软件,能够运行于 Windows95 / 98 / NT / 2000 等操作系统。

4 结束语

CLTM 建模思想及递归算法体现了“量体裁衣,分而治之”的构想,模型描述简洁,算法运行高效。所设计的软件实现了可视化动态交互的 CLTM 建模机制,计算精确可靠,易用性和通用性强,已成功应用于某大型航天系统的可靠性分析任务中。

参考文献:

- [1] Bavoso S J ,Rothman E ,et al. HiRel :Hybrid Automated Reliability Predictor (HARP) integrated Reliability Tool System (Ver7.0) [R]. NTIS NO. N95 - 22603/ 1/ HDM,1995.
- [2] 周广涛. 计算机辅助可靠性工程[M]. 北京:宇航出版社,1990.
- [3] 潘吉安,可靠性评估及其应用软件的开发[J]. 电子产品可靠性和环境实验,1997,第5期:7 - 11.
- [4] 曹晋华,程侃. 可靠性数学引论[M]. 北京:科学出版社,1986.
- [5] 梅启智. 系统可靠性工程基础[M]. 北京:科学出版社,1987.
- [6] 谢红卫,宫二玲,贺勇军. 时变结构多阶段任务系统的可靠度研究[J]. 国防科技大学学报,1999,21(5):41 - 45.
- [7] 贺勇军. 载人航天测控网系统可靠性综合计算[D]. 国防科技大学研究生院,1999.
- [8] Burdick G R ,et al. Phased Mission Analysis :A Review of New Developments and an Application[J]. IEEE Transaction on Reliability,1977,26(1):43 - 49.
- [9] Esary J ,Ziehms H. Reliability Analysis of Phased Missions [A]. Barlow ,et al. Reliability and Fault Tree Analysis. SIAM, 1975:213 - 216.

Design and Implementation of the Integrated Computing Software for Reliability of Complex Systems

HE Yong-jun

(College of Aerospace and Material Engineering , NUDT , Changsha 410073 , China)

Abstract :The characteristics of the reliability model and integrated computing for large scale complex systems are analyzed , and a new model named Composite Logic Tree Model (CLTM) for integrated reliability modeling is set forth , then a recursive algorithm based on CLTM is designed. Through the object - oriented analysis and design , the integrated modeling and computing software for system reliability has been implemented , and successfully applied to the mission of an aerospace system analysis. In the paper , the architecture and functions of the software are introduced , and illuminated by an example.

Key words :reliability ; composite logic tree model ; recursion algorithm ; visualization modeling ; software

欢迎订阅 欢迎赐稿
欢迎发布广告