

可靠性仿真技术

Reliability Simulation technology

陆胜勇 (驻航天总公司二院中心军事代表室)

摘要: 本文简要介绍了可靠性仿真概念, 基本方法和技术难点, 并对其应用前景作了初步探讨

关键词: 可靠性 仿真技术

1 引言

可靠性 (Reliability) 是指“产品在规定的条件下和规定的时间内, 完成规定功能的能力”, 它是与性能同样重要的产品质量特性之一。有资料表明, 我国自行研制和生产的航空、航天、机电、电子等产品性能日益提高, 但由于同时增加了其复杂性和高技术含量, 产品的可靠性问题也日益突出。因此, 如何搞好可靠性工作, 成为当前一个迫切需要解决的问题。

众所周知, 可靠性是设计特性, 因此必须在设计与研制时注入。从研制早期抓好可靠性工作, 是提高产品可靠性的有效途径。可靠性作为一门系统工程科学, 经过半个多世纪的发展已经形成了较为完整、健全的体系。传统的可靠性设计、分析与试验方法在许多领域取得了丰硕的成果。而可靠性仿真作为一门新兴的可靠性技术正在兴起, 它必将为可靠性工作提供一种更强有力的工具。

2 可靠性仿真定义

2.1 仿真的基本概念

所谓仿真 (Simulation), 就是用模型代替实际系统进行试验。按模型的不同, 仿真可分为数学仿真, 物理仿真, 半实物仿真三种。三种方法根据不同的需要应用在不同场合或阶段。

仿真最初被应用于实际系统进行试验有危险, 花费很大的领域, 如航空、航天、武器系统等; 后来逐渐运用到虽然可在实际系统上进行试验, 但花费较大、耗时较长、不大方便的一些领域。如冶金、化工、电力等。近十年来, 则进一步扩大到制造、交通、环境、生态、生物、社会、经济等领域。随着仿真技术、计算机技术、建模水平的快速发展, 仿真在国民经济的众多领域, 取得了较好的社会效益和经济效益。

仿真主要用于研究系统方案的可行性, 调整系统结构参数、提高系统精度、预测某项目前景等方面。它与实际系统研究法、解析分析法相比, 各有特点, 见表 1。

表 1 仿真方法、实际系统法、解析法对比表

	仿真技术	实际系统	解析方法
可能性	只要能建立系统模型，就能进行	系统尚未建立，则不可能；有的自然系统实验周期太长，也不可能	有的系统无法建立解析模型，因此，不可能利用解析方法
安全性	无危险	有危险（人身、设备）	无危险
经济性	花费不多	费用很大	花费不多
耗时性	中等	长	短
准确性	可以做到很准确	十分准确	要做很多假设，因此有较大误差
方便性	可以做到十分方便	受现场限制，很不方便	方便

2.2 可靠性仿真定义

随着仿真技术的不断发展，仿真技术应用到了可靠性研究上，形成了可靠性仿真。针对可靠性研究的特点，可靠性仿真一般采用数学仿真方法。所谓数学仿真就是用数学模型代替实际系统在计算机上进行试验。与其它方法相比，数学仿真具有以下优点：

(1) 精度高。仿真计算机是数学仿真的主要硬件设备，随着仿真机技术的发展，计算机运算精度有了很大的提高，这保证了试验结果的精确性。同时，数学仿真试验结果的逼真度和置信度，主要依赖于建立的数学模型的准确性。现有的可靠性和仿真技术已经能较好地解决可靠性建模这一问题。

(2) 对计算机要求较低。可靠性仿真不要求实时仿真，因此在一般的个人微机、工作站上就可以进行，而不需专门的昂贵的仿真机（小型机、巨型机等）。这一点更有利于可靠性仿真工作的开展。

(3) 难度较低。可靠性数学模型变为计算机上运行的仿真模型，可以直接利用系统数学模型中各种坐标系及其变换关系进行，不必考虑因实物接入而带来的各坐标系之间

的协调转换，降低了实现仿真的难度。

(4) 成本低。数学仿真突出的优点之一就是所有试验封闭在计算机上进行，它不需要实物的参与，又可以进行大量的、重复性的试验，节省了可靠性工程经费的投入。可靠性仿真特别适用于可靠性统计试验。

3. 可靠性仿真基本方法

对于庞大、复杂的系统，其各分系统、组合、元器件、零件都有不同的失效类型和故障模式，传统的分析方法研究十分困难。可靠性仿真则可以较好地解决这一问题。它即可以应用于可靠性设计中，也可以应用于可靠性试验中；既可以应用于可靠性统计试验，又可以应用于可靠性工程试验；既可以先对各分系统，如电气、液压等重点分系统进行可靠性仿真，进而依据这些结果对全系统进行可靠性仿真；也可以直接对全系统进行可靠性仿真，具有广泛的应用范围。

可靠性仿真在不同的研制阶段也具有不同的做法：在方案论证阶段，利用可靠性设计手册提供的可靠性预计数据和可靠性分配数据进行仿真试验，对系统作出比较粗略的估计；在工程研制阶段，就可以利用有关的试验数据进行仿真试验，通过修改实际系

统, 可以提高系统可靠性水平, 通过对仿真结果的统计分析, 可以实现对系统可靠性精确的评估; 在产品使用阶段, 通过对发生故障的复现、排除, 实现对产品的改进设计。可靠性仿真一般采取以下步骤:

(1) 建立可靠性数据库 (RDBF)。广泛收集可靠性数据, 对数据进行加工、处理, 得出各分系统、及各分系统内各元器件、组合、部件等的寿命分布类型和可靠性参数值, 从而建立系统的可靠性数据库。

(2) 构造故障树 (FTA)。故障树法是可靠性工程中最常用、最有效的一种设计分析方法, 它既可以进行定性分析, 也可以进一步用于进行定量分析。通过与故障模式及影响分析法 (FMEA) 的有机结合, 由工程设计人员建立系统、分系统故障树, 并邀请有关的可靠性工程人员参加审查, 以保证故障树的逻辑关系正确。

(3) 建立可靠性模型 (数学模型)。利用系统的热设计、冗余设计、降额设计以及积累零件、元器件、部件、组合和分系统的失效模式, 由专业人员建立可靠性模型。

(4) 建立可靠性仿真模型。根据可靠性模型的形式、计算机类型以及试验要求将可靠性模型转变适合于计算机处理的形式, 即可靠性仿真模型, 并依据有关参数进行仿真模型的验证, 确定模型的有效性

(5) 编制仿真程序。利用仿真软件将可靠性仿真模型输入计算机, 并对仿真程序要使用的数组定维、设置工作单元位置、输入可靠性仿真参数、初始条件、规定输出打印间隔、打印数据和绘图比例尺等。

(6) 可靠性仿真试验。依据仿真目的, 在可靠性仿真模型上进行大量的仿真试验。仿真不同于一般的科学计算, 它要求体现出“在模型上进行试验”这个含义, 也就是在仿真试验时, 工程技术人员就像在真实系统上进行试验那样可以观察系统的动态过程,

适时地改变系统的初始条件和有关参数, 甚至结构模型, 实现人机交互功能。

(7) 可靠性仿真结果分析与评定。对于复杂的随机过程, 一般采用蒙特卡洛法 (Monte Carlo) 等统计方法, 通过选择不同的随机初始条件和随机输入函数, 对可靠性仿真系统进行大量的统计计算, 并得出系统变量的统计特性。

4. 可靠性仿真技术难点

可靠性仿真中两个比较重要的环节为: 一是数学模型是否反映真实系统即数学模型的验证; 二是校证仿真模型是否正确地实现了数学模型, 即仿真模型的校验, 只有当数学模型和仿真模型都得到了验证, 可靠性仿真才是可信的。

4.1 建立可靠性仿真模型

建立可靠性仿真模型需要可靠性工程专业技术人员和仿真专业技术人员的密切配合。在可靠性分析模型基础上, 将分析程序与相应的可靠性仿真程序相连接, 并将可靠性分析模型中的一些参数用随机变量描述。

对于模型中的参数, 有的可以直接从有关手册中查得, 有的则要通过试验求得。对于随机变量的分布参数, 有的可以直接根据工程判断认可使用, 有的应安排一些试验验证后使用, 还有的须经有关数据变换后才能使用。工程研制部门应及时提供可靠性仿真必需的有关试验参数, 以切实保证可靠性仿真模型的需要。

4.2 可靠性仿真模型确认

为确保可靠性仿真结构与实际产品试验结果接近, 在建立可靠性仿真模型之后, 要进行如下工作:

(1) 模型校验 主要验证仿真模型与理论模型是否相符合;

(2) 程序校验 在计算机上运行可靠性仿真程序, 通过试算等手段对程序进行测试;

(3) 模型验证 将仿真试验结果与真实试验结果相对比, 对可靠性仿真模型作部分修改, 逐步完善模型;

(4) 模型确认

用经过验证后的仿真模型进行仿真试验, 并将仿真试验结果与有关的试验数据进行对比分析, 在此基础上可邀请各方面专家对仿真模型予以确认。经过确认的模型认为是可信的模型, 在此模型上进行大量的仿真试验, 同时给出可靠性仿真结果。

正确建立可靠性仿真模型和可靠性仿真模型的验证确认, 是可靠性仿真成败的关键, 也是顺利完成仿真试验, 得出令人信服的结果的保证。

5. 可靠性仿真应用前景

5.1 可靠性仿真特点

(1) 提高可靠性。可靠性仿真能够处理各种可靠性问题, 并且较全面地激发故障和失效, 以便找出影响可靠性的薄弱环节。在研制阶段就可以较早地发现故障和失效, 及早发现, 及早纠正, 正是提高可靠性的最有效的途径。

(2) 节省可靠性投入。对于复杂的系统, 用硬件直接进行试验, 费用很大。而采用可靠性仿真, 可以重复进行试验。只要仿真的模型和原始数据准确, 对系统作一次可靠性仿真试验, 就相当于一次实弹打靶。这样的仿真试验几周内就可以进行上千次, 节省了大量的人力、物力和财力, 也保证了研制周期。

(3) 有效性强。对于导弹等复杂的武器系统, 它的寿命分布类型较多, 用一般的解析方法估计其可靠性参数值, 常与实际值有较大的差距, 引起整个系统可靠性分析的误差, 而可靠性仿真则要准确可靠得多。

(4) 应用范围广。传统分析方法一般只能处理具有成败型和指数分布类型的系统或设备, 如果再加上正态分布、对数正态分布和威布尔分布以及其它复杂的分布类型, 解析方法就无法解决。而仿真可以处理上述所有的分布类型, 大大增强了处理复杂系统和较多寿命分布类型系统的能力。

(5) 通用性好。可靠性仿真过程中建立的数据库、可靠性仿真模型、计算机系统(包括硬件和软件)通过局部修改、调整, 可以应用到不同型号的可靠性研究中, 更有利于可靠性工作的开展。

5.2 可靠性仿真技术应用前景

可靠性仿真应用于电子、机械等可靠研究, 对提高产品可靠性起到了明显的效果, 它还具有经济性好、应用范围广、通用性好、难度小、直观、保密等优点, 对仿真计算机的要求也不高。因此, 我们有理由相信, 可靠性仿真作为仿真技术在可靠性领域的研究成果, 作为一种全新的、有效的可靠性研究方法, 它必将在有关产品研制生产的可靠性工程中取得更大的应用和更好的效果。

参考文献

- [1] 国家军用标准 GJB451—90《可靠性维修术语》
- [2] 杨为民 可靠性、维修性、保障性总论 国防工业出版社, 1995.
- [3] 陆孝廷、郑鹏洲·可靠性设计与分析 国防工业出版社, 1995.
- [4] 熊光楞、彭毅 先进仿真技术与仿真环境 国防工业出版社, 1997.