

可靠性预计方法—PRISM 简介

1 前言

系统可靠性预计技术是产品可靠性分析的一项关键技术，广泛地应用于各个领域的产品研发过程，成为产品可靠性设计和分析的一项必不可少的重要工作。对于电子产品来说，进行可靠性预计时一定要采用合适的预计模型，当前我国的军品行业一般是对于国产产品用GJB/z 299B《电子设备可靠性预计手册》中规定的模型进行预计，对于进口产品采用MIL-HDBK-217F《电子设备可靠性预计手册》中规定的模型进行预计，民用企业一般采用Bellcore 可靠性预计手册中规定的模型进行预计。这些预计模型都有一个共同的不足之处，就是仅根据产品的设计和使用环境进行可靠性预计，未考虑影响产品可靠性的其它关键因素，例如工艺、制造、筛选、管理等，预计结果表达的是设计的可靠性，而非现场可靠性。在这种情况下，PRISM 可靠性预计方法应运而生。PRISM 是美国空军（U.S. Air Force）下属的可靠性研究中心（Reliability Analysis Center-RAC）研发的可靠性预计分析方法，自2000 年3 月推出以来，已在全世界得到广泛应用。PRISM 在我国的普及程度还不够，除一些外资企业采用以外，其它行业很少采用，介绍PRISM 的中文资料也很少。

2 PRISM 简介

传统的可靠性预计方法的前提是系统的故障率主要是由组成系统的各个部件的故障率决定，因此，传统的预计方法是首先通过选用适当的可靠性预计模型得到组成系统的各个部件的故障率，在此基础上得到系统的故障率。在PRISM 中，虽然在系统级的可靠性预计中也采用了部件级的可靠性预计结果，但它在系统级的可靠性预计模型中，除了考虑到部件级的可靠性预计结果外，还进行了一定程度的扩展，考虑到了影响产品可靠性的各个方面的诸多因素。

为了使部件的预计结果更加精确，PRISM 还考虑到了以下因素：

- 过程因素（Process factor）：PRISM 考虑到了过程因素对产品可靠性的影响，采用了很多修正因子来定量地表达由于过程因素导致的失效，用过程评分（Process grade）方法确定这些修正因子。
- 经验数据（Historical data）：很多产品采用继承性设计方式，即在老产品型号的基础上进行一定程度的更改设计，当老产品具有一些可用的经验数据时，PRISM 提供了一种评估方法，利用经验数据来调整可靠性预计结果。
- 试验或现场数据（Test or field data）：对于当前的系统设计有一些试验或现场的数据支持时，PRISM 提供了贝叶斯（Bayesian）分析方法，在这些数据的基础上进一步调整可靠性预计结果。区别于其它可靠性预计模型，PRISM 的独特之处在于：
 - 涉及到影响产品可靠性的各方面的因素
 - 利用所有可用的信息评估产品现场的可靠性
 - 根据用户自定义的故障率信息进行裁剪
 - 采用定量的置信区间的评估方法

3 PRISM 可靠性预计流程

采用PRISM 预计方法的目的是得到系统及各组成部分的可靠性预计结果，在PRISM 中可靠性预计结果用故障率的形式表达。标准的流程见图 2。

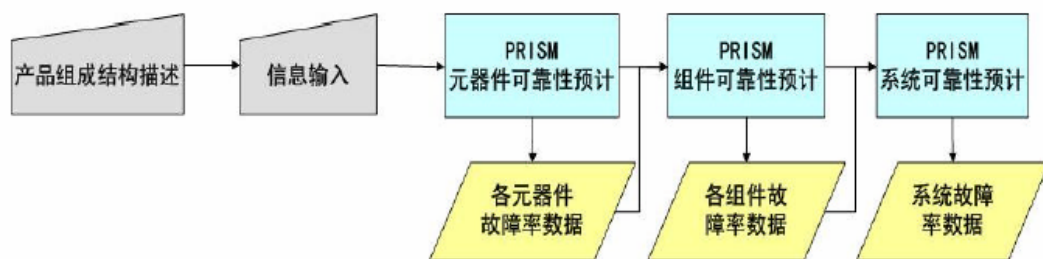


图 2 标准的PRISM 可靠性预计流程

首先，以树型层次关系表达系统的组成结构，再输入各层次节点的相关信息；然后利用PRISM 中的元器件可靠性预计方法预计出所有元器件的工作故障率数据，再利用元器件的可靠性预计结果进行组件级可靠性预计，得到所有组件的工作故障率数据，最后根据各组件级的可靠性预计结果进行系统的可靠性预计，得到系统的现场可靠性预计结果。

相关工作子流程的描述参见第3.1 节“元器件级可靠性预计流程”、第3.2 节“组件级可靠性预计流程”第3.3 节“系统级可靠性预计流程”。

3.1 元器件级可靠性预计流程

PRISM 元器件级可靠性预计流程见图 2

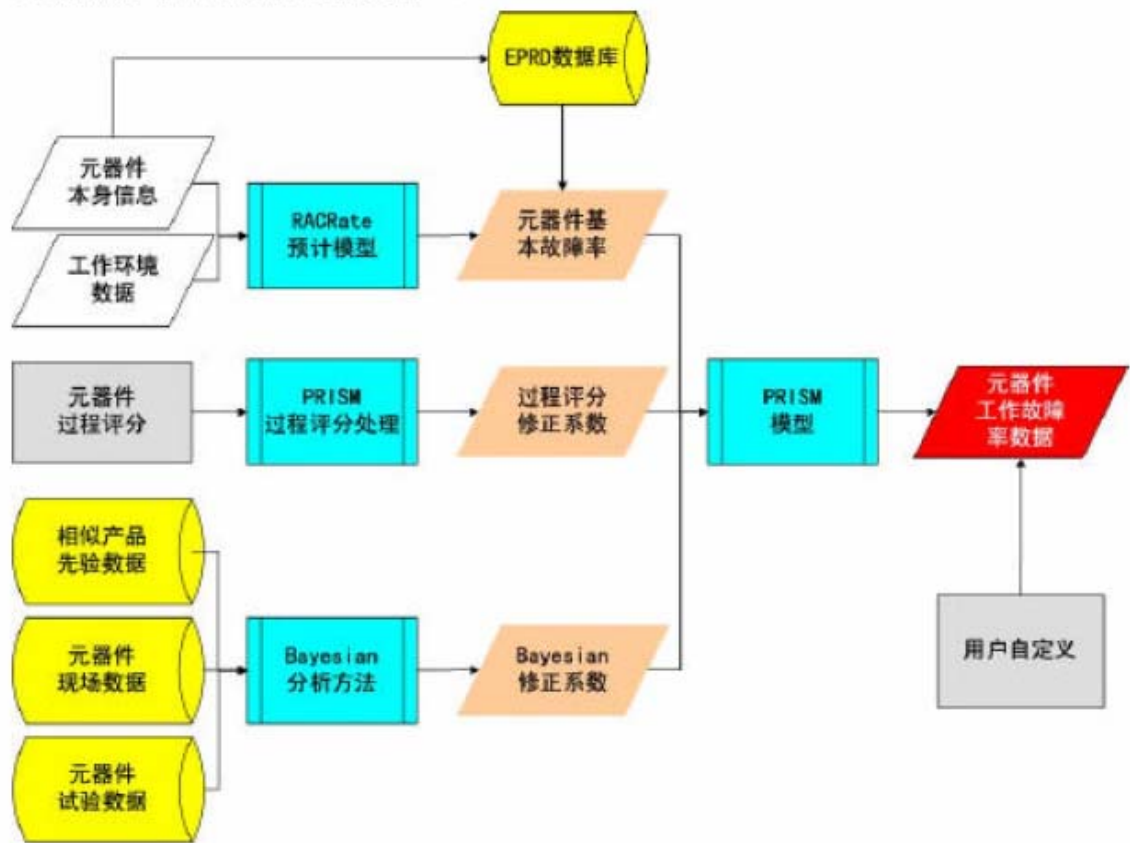


图 2 PRISM 元器件级可靠性预计流程

如图 2 所示，元器件的可靠性预计结果是元器件的工作故障率，可以有两种方式得到这种故障率，一种是利用PRISM 的元器件可靠性预计方法，另一种是由用户直接输入其故障率数据。

当采用PRISM 的元器件可靠性预计方法时，首先要得到元器件的基本故障率数据，作为PRISM 的“种子”值。为了得到元器件的基本故障率数据，需要利用PRISM 中的RACRate 预计模型（参见第 4.2 节）进行计算，RACRate 预计模型的输入包括元器件的基本信息和元器件使用环境信息：元器件的基本信息包括元器件的类型、基本参数、工作应力等；环境信息包括工作温度、湿度和振动等。RACRate 预计模型并没有提供全部元器件的预计模型，当某个元器件无法通过RACRate 预计模型进行预计时，可以利用EPRD 数据库根据实际使用情况为其指定一个基本故障率。得到基本故障率这个“种子”值后，PRISM 提供了两种修正方法：一种是利用过程评分方法（参见第4.3 节）进行修正，另一种是贝叶斯分析方法修正（参见第4.2 节）。利用过程评分修正时，需要对元器件的设计、制造、工艺、管理、筛选等过程的很多方面进行评分，PRISM 会根据评分结果采用内置的修正模型进行修正；当采用贝叶斯修正方法时，技术人员需要输入元器件的一些历史数据作为先验信息，如相似产品的故障率数据、试验数据和现场数据等，PRISM 中的Bayesian 方法会根据这些数据对故障率的“种子”值进行修正。需要说明的是，如没有那么多信息，也可以直接采用“种子”值作为工作故障率的值进行修正；如已有部分信息，就可以进行部分修正。修正是预计逼近真实数值的行为，只要是可用的信息就是有用的。

3.2 组件级可靠性预计流程

PRISM 组件级可靠性预计流程见图3。

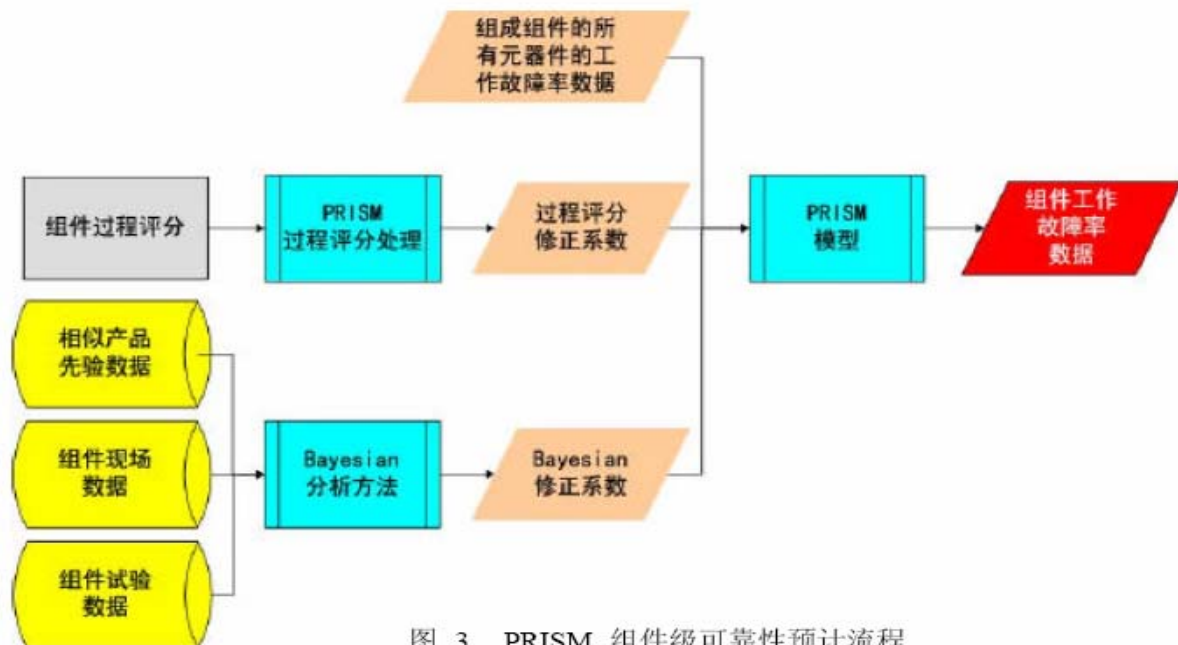


图 3 PRISM 组件级可靠性预计流程

PRISM 组件级预计时采用的“种子”值是组成组件的各个元器件的工作故障率的预计结果，修正的方法和过程与前节描述类似，不同的是修正所需的所有数据输入均为该组件的数据。

PRISM 系统级可靠性预计流程见图4。

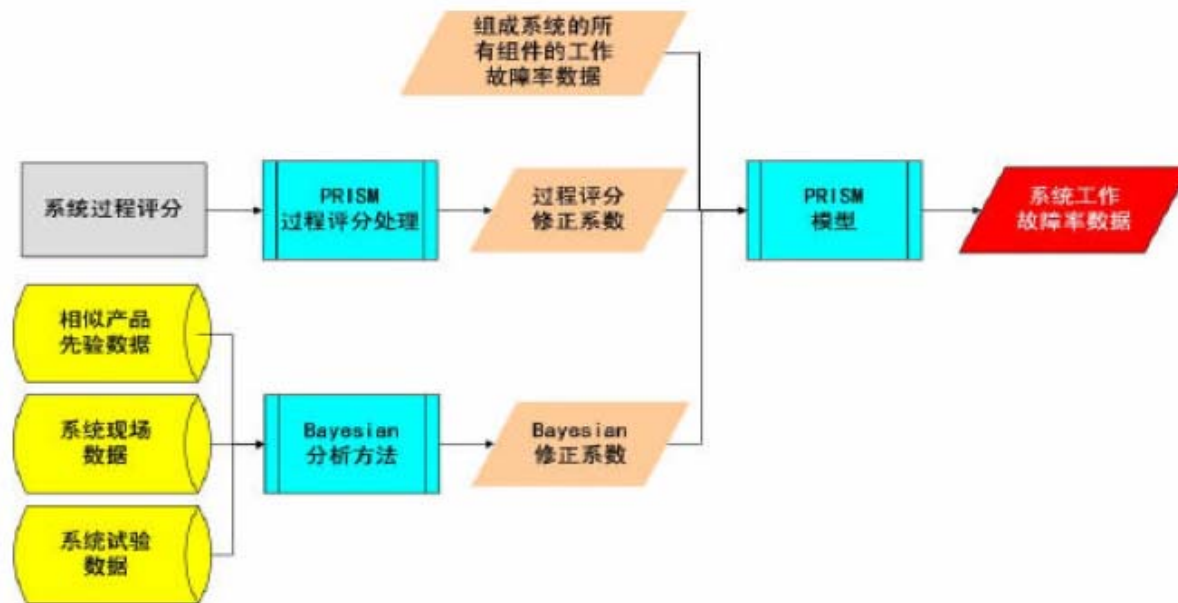


图 4 PRISM 系统级可靠性预计流程

PRISM 系统级预计时采用的“种子”值是组成系统的各个组件和元器件的工作故障率的预计结果，修正的方法和过程与前节描述类似，不同的是修正所需的所有数据输入均为该系统的数据。

3 PRISM 主要概念的简单解释

4.1 系统级信息

在系统的初步设计阶段，了解的有用信息很少，预计系统的可靠性有难度，这时采用PRISM 方法可以估算系统的可靠性。例如，在一个系统研发的早期阶段，可以根据通用的元器件清单、使用环境的默认值和期望的系统运行剖面来估算其可靠性。随着研制过程的推进，越来越多的可用信息被补充进来，此时可用这些信息来修正系统级参数和采用的默认值，从而进行进一步的推断（What-if）分析。

例如，可以分析下列参数是如何影响系统、组件和元器件的故障率的：

- 系统和部件的工作应力，如耗散功率、电压和环境等；
- 环境应力因子，例如温度、湿度和振动等；
- 运行剖面、占空比（Duty cycle）和工作循环率等；

4.2 RACRates 模型

RACRates 模型是根据RAC 的故障率数据库创建的部件可靠性预计模型，PRISM 采用此模型。利用RACRates 模型可以评估如：电容、二极管、集成电路、电阻、半导体闸流管、晶体管、软件等部件的基本故障率：

每一种部件的RACRate 模型都有自己的要求。当在系统设计中采用一个硬件部件时，就要确定这个部件的主分类和子分类，RACRate 模型会给出这个部件的一些参数的默认值，技术人员可以采用默认值或更改它们，RACRate 模型会利用这些数值计算出这个部件的故障率。当完全采用默认值时，RACRate 模型的计算结果为这个部件在工业领域内故障率的平均值；当根据系统的特征采用更贴切产品的设计和使用的值时，利用RACRate 模型计算得出的故障率会更真实地反映这个部件的可靠性水平。

4.3 过程评分 (Process grade)

PRISM 采用了独特的过程评分方法，根据非部件本身因素来调整利用RACRate 模型计算得到的基本故障率。这些非部件本身因素包括根据历史经验对系统故障有重要影响的，与过程相关的各个因素，PRISM 将这些因素按其故障发生概率的贡献程度划分为很多评分等级。PRISM 也明确地考虑到了影响系统性能和规定功能的各个主要因素，包括元器件质量、设计、制造、系统管理等等。一旦系统或组件完成结构设计，通过任何模型得到的失效率是固有的，或者可以称作“种子”的失效率，因为这样的失效率仅仅代表了组成系统或组件的元件的物理属性，这个属性考虑到了与其应用相关的环境剖面 and 任务剖面特征，而在现场使用中的系统或组件的实际失效率有可能较其固有失效率要更高或低一些，究竟其结果如何，取决于不同的设计和制造商对以下过程的保证程度：

- 设计是可靠的和健壮的
- 所用部件的质量经过优选并可控
- 生产过程不会降低产品的可靠性和性能
- 管理过程能够促进良好规范的制定和设计的实施
- 维修行为不会诱发失效
- “不可复现”的事件数量最少
- 明确和指定早期故障期和耗损故障期
- 强调可靠性增长并贯穿于整个研发过程

PRISM 通过对系统级失效的原因按上述八个过程分别进行评分认定，从而定量地确定以上各个因素对系统可靠性的影响程度。通过回答一系列的问题，对以上八个具体过程分别划分等级，建立相应的打分剖面，打分割面的累加值转化为定量的Pi 因子系数，它使失效率的预计值放大或缩小，从而反映出与这些因素相关的动态特性。

4.4 先验信息和贝叶斯分析

就像过程评分方法一样，一些变量的经验数据会对产品的可靠性产生影响，但是它们没有被一般的可靠性预计模型合理地纳入进来。如果采用PRISM 方法，PRISM 鼓励用户尽可能多地收集与可靠性评估相关的经验数据。例如，前辈产品的现场反映的故障率数据等。PRISM 会利用这些历史数据作为贝叶斯分析的先验信息更精确地调整可靠性预计结果。同样，对于一个新系统来说，本身的试验数据和现场数据也是预计产品可靠性的重要先验信息，PRISM 方法采用了贝叶斯分析手段利用这些先验信息进行可靠性预计，使预计结果更准确地反映系统及其组成部件在现场中的可靠性水平。

4.5 EPRD 和用户自定义故障率信息

有的部件在RACRate 中没有提供计算模型，用户可以在电子元器件可靠性数据 (Electronic Parts Reliability, EPRD-97) 手册中为其查到一个故障率的数值，或者用户可根据这个部件的应用情况为其指定一个故障率。在EPRD 手册中，除了电子产品以外，EPRD 还覆盖了非电产品可靠性数据

(Nonelectronic Parts Reliability, NPRD-95) 手册中所有的产品，包含轴承、闸片、离合器、连接器、齿轮、电磁部件、光电器件、泵、继电器、密封圈、螺线管、花键、弹簧和阀产品的数据。EPRD数据手册是根据28 万亿元器件工作小时，在472,000 个故障的基础上编制的。

小结

PRISM 可靠性预计方法作为国际上先进的可靠性分析技术必将得到广泛的应用与长足的发展，本文旨在抛砖引玉，还希望能有更多的工程技术人员与可靠性专家来共同运用与研究。文中如有疏漏之处，望能提出指正。