

# 战术防空 C<sup>3</sup>I 仿真软件可靠性分配

刘 铭, 赵英俊, 张和军  
(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

**摘要:**介绍了战术防空 C<sup>3</sup>I 系统的一般概念和其作战仿真软件的基本组成。利用层次分析法(AHP)的思想,提出了相应的可靠性分配模型,对该作战仿真软件的可靠性进行了分配。

**关键词:**C<sup>3</sup>I 系统;软件;可靠性分配

**中图分类号:**TP311.52 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2000)05-0051-03

## 1 系统的可靠性分配

系统的可靠性分配,就是根据系统设计任务书中规定的可靠性指标,按一定的方法来分配给组成该系统的分系统、设备及其元器件,并将它们写入与之相应的设计任务书或技术经济合同中,目的是使各级设计人员明确其可靠性设计要求,并研究实现这一要求的可能性和应该采取的一些措施。

系统可靠性分配的关键在于求解下面的函数式

$$f(R_1, R_2, \dots, R_n) \geq R_s \quad (1)$$

式中,  $R_s$  为系统的可靠性指标;  $R_1, R_2, \dots, R_n$  为分配给第 1, 2,  $\dots, n$  个分系统的可靠性指标;  $f(R_i)$  为分系统和系统可靠性之间的函数关系。

对于硬件系统来说,进行可靠性分配的基本理论都比较成熟,在实际工作中也已经得到了广泛的运用。而对于软件可靠性的分配,由于软件本身的特殊性,使得在软件可靠性分配上尚无成熟的理论和有效的方法。本文主要针对战术防空 C<sup>3</sup>I 系统作战仿真软件<sup>[1]</sup>的可靠性分配问题进行了研究和探讨,并应用层次分析法建立了相应的软件可靠性分配模型。

## 2 战术防空 C<sup>3</sup>I 系统作战仿真软件的可靠性分配

进行 C<sup>3</sup>I 系统作战仿真软件的可靠性分配,应当按照不同的子程序以及不同的模块相对于整个软件的重要性程度来相应地进行分配,重要性程度高的单元,分配的可靠度数值相对就高;反之,则可以分配较低的可靠度。对于软件各部分的相对重要性我们可以利用层次分析法<sup>[2]</sup>来得出,然后针对具体要求来确定可靠性的分配模型,最终通过最优化的计算完成可靠性的分配。

### 2.1 用 AHP 法求各层单元的相对重要性

采取的步骤如下:

第一步,确定该仿真软件的功能层次结构。综上所述,对于一个典型的战术防空 C<sup>3</sup>I 系统作战仿真软件,进行可靠性分配时,可以把软件系统划分为一个如图 1 所示的层次结构。

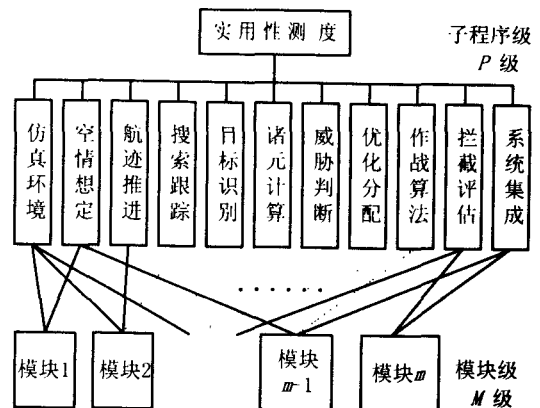


图 1 作战仿真软件层次结构图

该软件划分为系统级(S级)、子程序级(P级)及模块级(M级)三个层次。子程序级的每一个单元可划分为若干模块,模块级的每一模块又可划分为若干子模块,但每一个模块下的子模块属于且只属于该模块,而不能被其他模块所调用。根据上述划分层次的方法,该仿真软件被划分为  $m$  个相互独立的模块,记为  $M_1, M_2, \dots, M_n$ , 该软件可靠性的分配到  $M$  级层次为止。

第二步,在每一层次的各单元间进行两两比较来收集数据。具体方法如下:假设各单元分别命名为  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , 从中任取  $x_i$  和  $x_j$ , 比较他们对于上一层次元素贡献的大小,按表 1 的标准来相应赋值。

这样就可以得到所有  $x_i/x_j$  的值,其中  $i, j = 1, 2, \dots, n$ 。从而建立  $n$  阶方阵  $A = (x_i/x_j)_{n \times n}$ 。

第三步,使用特征值法,在每一层上计算出相对的权值(特征向量)。

特征值法在计算相对权值时使用的输入矩阵为:

$$A \cdot W = \lambda_{\max} \cdot W \quad (2)$$

其中  $A$  是由第二步所得到的判断矩阵,  $\lambda_{\max}$  为判断矩阵  $A$  的最大本征值,  $W$  反映的是对应于  $\lambda_{\max}$  的特征向量(相对权重)。然而对于该矩阵是否合理,还必须进行一致性检验。

第四步,对矩阵进行一致性检验。利用一致性比例因子  $CR$  来检验判断矩阵  $A$  在一致性方面能否接受。

$$CR = RI/CI \quad (3)$$

当  $CR < 0.1$  时,则可以认为该矩阵在一致性方面是可以接受的。其中,一致性指标  $CI$  为

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

而  $RI$  是随机一致性指标,其值可通过查相应的  $RI$  表得到。

如果  $CR > 0.1$  时,则可以认为该判断矩阵一致性得不到满足,转到第二步对矩阵重新进行评估打分,直至满足一致性要求。

第五步,经过以上步骤可以得到除顶层外各层次上元素的相对权值,然后对相对权进行归并,就可以得到较低层相对于整个软件的相对合并权值(重要度)。

## 2.2 软件的实用性测度

对于软件系统来讲,主要关心的是该软件实用性如何,因此需要对软件的实用性测度<sup>[3]</sup>有一个了解。软件的实用性一般可以认为是用户利用该软件可靠地实现各种不同功能的能力,也就是说,软件实用性是一个如下所示的函数,  $U = h(F, R)$  (5)

式中,  $U$  为实用性测度;  $F, R$  分别为软件功能的向量和实现这些功能可靠性的向量;  $h$  为任意的函数形式。

对于战术防空  $C^3I$  系统作战仿真软件可靠性分配模型来说,  $h$  为一线性函数。这样,该软件系统实用性测度可表示为

$$U = \sum_{i=1}^p W_{pi} \cdot R_{pi} \quad (6)$$

式中,  $W_{pi}$  为子程序(或模块)  $i$  的全局相对权;  $R_{pi}$  为子程序(或模块)的可靠性;  $p$  为程序级(或模块级)的单元级。

软件可靠性分配的实质是在给定软件实用性测度的基础上对子程序级单元及模块级单元的可靠性进行分配。

## 2.3 确定 $C^3I$ 系统作战仿真软件可靠性分配模型

对战术防空  $C^3I$  系统作战仿真软件来说,软件中的软件模块可以认为都是相互独立的,那么子程序的可靠性可以写成组成它的所有模块可靠性之积,即

$$R_{pi} = \prod_{mj \in mi} R_{mj} \quad (7)$$

其中,  $mi$  表示用于构成子程序  $i$  的所有模块的集合。

其各模块的可靠度,应当有一定的限制要求,首先需要考虑现有的技术条件,能够达到可能的最高水平,而且还应当有一个可靠性的最低允许值,如果低于该值的话,那么该模块根本不具备使用价值,则对该模块

表 1 1-9 标度

$X_i/X_j$ 的值	重要度
1	$x_i$ 与 $x_j$ 贡献程度相同
3	$x_i$ 比 $x_j$ 的贡献略大
5	$x_i$ 比 $x_j$ 贡献大
7	$x_i$ 比 $x_j$ 大得多
9	$x_i$ 贡献如此之大, $x_j$ 根本不能与之相提并论
$2n(n=1, 2, 3, 4)$	$x_i/x_j$ 介于 $2n-1$ 和 $2n+1$ 之间

必须进行修改乃至重新设计,直至满足要求。

因此可确定该作战仿真软件可靠性分配模型如下

$$\max U = \sum_{i=1}^p W_{pi} \prod_{mj \in mi} R_{mj} \quad (8)$$

满足

$$R_{mj} \leq U_j$$

$$R_{mj} \geq V_j$$

式中: $U_j$  为模块  $j$  的可靠性所能达到的最高水平; $V_j$  为模块  $j$  的可靠性水平允许的最低水平。

把前面所得到的权值  $W_{pi}$ , 及该软件所要求的实用性测度  $U$  代入该模型中, 这样对于该仿真软件的可靠性分配问题就可以转化为非线性规划领域中的有约束条件的最优解的问题, 通过人工计算或相应的软件工具来计算, 就可以求得相应模块的  $R_{mj}$  的值。这样就该仿真软件可靠性分配到了模块级的每一单元。一旦模块级可靠性分配完成, 就可以利用(7)式来求得各子程序的可靠度, 完成子程序级每一单元的可靠性分配。

### 3 结束语

可靠性分配是一个极其复杂的问题, 对于不同的系统, 在不同的情况下采用的可靠性分配的方法是不同的。尤其对于软件来说, 由于软件系统的不可见性, 导致对软件进行可靠性分配工作难度更大, 难以定量地进行描述。本文主要利用了层次分析法把难以定量描述的问题进行了量化的处理, 最后把问题转化为数学规划中求最优化解的问题。这种思想对于软件的可靠性分配有一定的借鉴作用, 然而是不是还有更好的方法来解决这个问题, 还值得进一步研究和探讨。

#### 参考文献:

- [1] 刘 铭, 陈永革. 战术防空 C<sup>3</sup>I 系统作战效能评估[A]. 军事系统工程的发展和实践[C]. 北京: 军事科学出版社, 1999, 382 - 386.
- [2] 周义仓, 郝孝良. 数学建模实验[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1994.
- [3] 徐 佐. 软件可靠性模型及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994.

## Research on Tactic Air-defense C<sup>3</sup>I System Fighting Simulation Software Reliability Assignment

LIU Ming, ZHAO Ying-jun, ZHANG He-jun  
(Missile College., AFEU., Sanyuan 713800, China)

**Abstract:** This paper firstly introduces the general concept of the tactic air-defense C<sup>3</sup>I system and basic constitutions of the fighting simulation software. On the basis of them, this paper puts forward a corresponding soft reliability assignment model to solve the problem of the software reliability assignment.

**Key words:** C<sup>3</sup>I system; software; reliability assignment